

<https://helda.helsinki.fi>

Kymijoen jääolosuhteet ja veden laatu

Kokkonen, Tom

2013-09-30

Kokkonen , T 2013 , ' Kymijoen jääolosuhteet ja veden laatu ' . <
<http://hdl.handle.net/10138/40878> >

<http://hdl.handle.net/10138/229419>

acceptedVersion

Downloaded from Helda, University of Helsinki institutional repository.

This is an electronic reprint of the original article.

This reprint may differ from the original in pagination and typographic detail.

Please cite the original version.



Pro gradu -tutkielma
Geofysiikan suuntautumisvaihtoehto

KYMIJOEN JÄÄOLOSUHTEET JA VEDEN LAATU

Tom Kokkonen

27. elokuuta 2013

Ohjaaja:
Matti Leppäranta

Tarkastajat:
Matti Leppäranta
Timo Huttula

HELSINGIN YLIOPISTO
FYSIIKAN LAITOS

PL 64 (Gustaf Hällströmin katu 2)
00014 Helsingin yliopisto

Tiedekunta/Osasto - Fakultet/Sektion - Faculty/Section Matemaattis-luonnontieteellinen tdk		Laitos - Institution - Department Fysiikan laitos	
Tekijä - Författare - Author Tom Valtteri Kokkonen			
Työn nimi - Arbetets titel - Title Kymijoen jääolosuhteet ja veden laatu			
Oppiaine - Läroämne - Subject Geofysiikka			
Työn laji - Arbetets art - Level Pro gradu -tutkielma		Aika - Datum - Month and year Elokuu 2013	Sivumäärä - Sidoantal - Number of pages 83
<p>Tiivistelmä - Referat - Abstract</p> <p>Suomessa jääpeite kattaa vesistöjä 3 - 7 kuukautta vuodessa. Jokien jääolosuhteilla on suuri merkitys jokivarsien asukkaille ja teollisuuslaitoksille. Jokien jäätymiseen liittyvät ongelmat aiheuttavat suuria taloudellisia menetyksiä ja ympäristövahinkoja, vaikka niitä pyritäänkin ehkäisemään erilaisilla jäätorjuntamenetelmillä ja vesistönkäyttö- ja tulvantorjuntatoimenpiteillä. Kymijoella suurin ongelma on suppojaa, joka aiheuttaa vahinkoja lähes joka vuosi.</p> <p>Kymijoki sijaitsee Kaakkois-Suomessa ja laskee Itämerelle Suomenlahteen. Kymijoen valuma-alueen pinta-ala on 37 107 km², joka kattaa lähes 11 % koko Suomen pinta-alasta. Keskimääräinen virtaama joen pääuomassa on 283 m³/s. Kymijoki on valuma-alueeltaan ja virtaamaltaan maamme neljänneksi suurin joki.</p> <p>Tämän tutkimuksen ensimmäisenä tavoitteena oli valita sopivat mittauspisteet Kymijoen pääuomasta, sen kaikista haaroista ja lähtöjärvistä sekä tutkia niiden sopivuutta kuvaamaan Kymijoen olosuhteita. Kymijoen veden laatua ja jääoloja tutkittiin kenttämittauksina talvella 2011–2012. Toisena tavoitteena oli koostaa tehdyistä mittauksista kattava kuva Kymijoen jääolosuhteista ja veden laadusta talviaikana. Näitä tietoja verrattiin Kymijoen vesi- ja ympäristö ry:n vedenlaatatutkimuksiin, Suomen ympäristökeskuksen virtaamahavaintoihin ja Ilmatieteen laitoksen säähavaintoihin.</p> <p>Kymijoen eri mittauspisteiden välillä oli hyvin paljon eroja jääkannen peittävyudessa ja rakenteessa, johtuen erilaisista olosuhteista ja Kymijoella käytetyistä jäätorjuntakeinoista. Osalla mittauspisteistä oli reunajäätä vain vähän tai ei jäätä ollenkaan ja osalla mittauspisteistä oli koko joen kattava kiinteä jääkansi. Jään paksuus eri mittauspisteillä vaihteli 0-55 cm välillä.</p> <p>Veden laatu oli koko Kymijoella kohtuullisen hyvä, vaikkakin eri osissa jokea oli selvästi havaittavissa vaihtelua. Happitilanne oli koko joella kohtuullisen hyvä ja suurimmat hapen kyllästysasteet olivat odotetusti hyvin vettä hapettavan koskijakson jälkeen. Sameudessa ja kiintoainespitoisuudessa oli huomattavan suurta vuodenaikaisvaihtelua. Lumen sulaminen keväällä ja runsaat sateet loppuvuodesta 2011 nostivat sameusarvoja selvästi. Perustuotannon vaikutus oli selvästi havaittavissa kesäkuun korkeissa kiintoainespitoisuuksissa. Kymijoen pH oli koko tarkastelujaksolla lähes neutraalilla tasolla. Kevään sulamisvesien happamoittava vaikutus ja perustuotannon pH:ta kohottava vaikutus olivat kuitenkin havaittavissa. Jätevesien sähköjohtavuutta nostava vaikutus oli selvästi havaittavissa Kymijoella. Valon sironta ja näin ollen partikkelien määrä Kymijoella lisääntyi joen alajuoksulle päin. Kymijoen yläosien järvissä vesi oli huomattavasti puhtaampaa kuin varsinaisessa joessa ja myös partikkelien sirontavaikutukset olivat häviävän pieniä.</p> <p>Jään rakenteessa tai peittävyudessa ei havaittu merkittäviä eroja, jotka johtuisivat siirtymisestä yläjuoksulta alajuoksulle, vaan erot johtuivat lähinnä hyvin erilaisista virtausolosuhteista ja Kymijoella käytetyistä jäätorjuntakeinoista. Jääpuomien vaikutusta jääkanteen ei havaittu kaikilla mittauspisteillä, mutta muutamilla mittauspisteillä vaikutus oli merkittävä jääkannen rakenteeseen ja peittävyYTEEN.</p> <p>Veden laatu oli koko Kymijoella kohtuullisen hyvä, mutta se muuttui selvästi huonommaksi siirryttäessä alajuoksulle päin. Veden laadun muutokset aiheutuivat joen alajuoksulla sijaitsevista teollisuuslaitoksista ja vedenpuhdistamoista. Kymijoen kahden päähaaran välillä ei havaittu merkittäviä eroja. Veden laadussa ei havaittu kerroksellisuutta johtuen virtauksen turbulenttisesta luonteesta.</p>			
Avainsanat - Nyckelord - Keywords Kymijoki, jokijää, suppojaa, veden laatu			
Säilytyspaikka - Förvaringställe - Where deposited Kumpulan kampuskirjasto			
Muita tietoja - Övriga uppgifter - Additional information			

1. JOHDANTO.....	1
1.1 JÄÄPEITTEEN MERKITYS	1
1.2 KYMIJOEN YLEISPIIRTEET	2
1.3 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET	5
1.4 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS.....	5
2. JOKIEN JÄÄOLOSUHTEET	5
2.1 JOKI- JA JÄRVIJÄÄN EROT.....	5
2.2 JÄÄTYMINEN.....	8
2.2.1 Jääkannen muodostuminen.....	8
2.2.2 Muita jokien jäätymiseen liittyviä ilmiöitä	20
2.3 JÄIDEN LÄHTÖ	24
2.3.1 Terminen jäiden lähtö.....	25
2.3.2 Dynaaminen jäiden lähtö.....	25
3. TUTKIMUSALUE.....	26
3.1 MITTAUSPISTEET	26
3.2 SÄÄ JA VIRTAAMA	31
4. MATERIAALIT JA METODIT.....	35
4.1 JÄÄOLOSUHTEET	35
4.1.1 Jääkannen muodostuminen.....	35
4.1.2 Jään rakenne	35
4.2 VEDENLAATU	36
4.2.1 Vesinäytteet.....	36
4.2.2 Hydrografiset luotaukset	37
5. TULOKSET	39
5.1 JÄÄN RAKENNE	39
5.1.1 Mittauspiste Kymi1	39

5.1.2 Mittauspiste Kymi2	41
5.1.3 Mittauspiste Kymi3	44
5.1.4 Mittauspiste Kymi4	47
5.1.5 Mittauspiste Kymi5	50
5.1.6 Mittauspiste Kymi6	55
5.1.7 Mittauspiste Kymi7	58
5.2 VEDENLAATU	58
5.2.1 Happitilanne.....	58
5.2.2 Sameus ja kiintoaine	61
5.2.3 pH ja sähkönjohtavuus.....	63
5.2.4 Veden optiset ominaisuudet.....	66
6. KESKUSTELU	70
6.1 JÄÄOLOSUHTEET	70
6.2 VEDEN LAATU	74
6.3 ILMASTONMUUTOKSEN VAIKUTUKSET JOKIEN JÄÄOLOSUHTEISIIN	76
7. JOHTOPÄÄTÖKSET	78
7.1 JÄÄN RAKENNE JA PEITTÄVYYS	78
7.2 VEDEN LAATU	79
7.3 MITTAUSSTRATEGIA	79
8. LÄHTEET	81

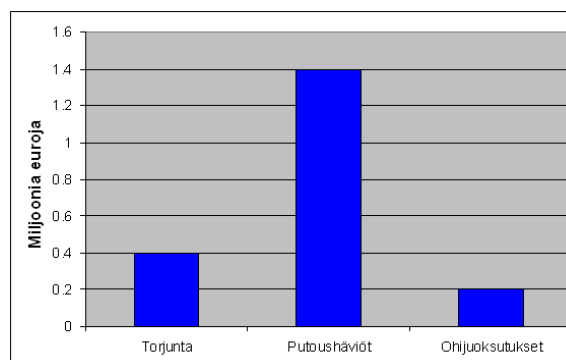
1. Johdanto

1.1 Jääpeitteen merkitys

Suomessa jääpeite kattaa vesistöjä 3 – 7 kuukautta vuodessa. Jokien jääolosuhteilla on suuri merkitys alueen asukkaille ja teollisuuslaitoksille. Jokien jäätymiseen ja keväisten jääpatojen muodostumiseen liittyvät ongelmat aiheuttavat suuria taloudellisia menetyksiä ja ympäristövahinkoja, vaikka niitä pyritäänkin ehkäisemään erilaisilla jääntorjuntamenetelmillä ja vesistön käyttö- ja tulvantorjuntatoimenpiteillä.

Suomessa jokijäitä on tutkittu jo kauan. Tornionjoen jäänlähtöä on seurattu yhtäjaksoisesti jo vuodesta 1693 lähtien (Kajander 1995). Kuitenkin ensimmäinen kattava tutkimus jokijäistä tehtiin vasta 1980-luvun lopulla, kun numeerinen jokijäämalli kehitettiin jokijää tutkimusprojektin aikana (Reiter 1989). Tämän jälkeen Kymijoesta ei ole tehty puhtaasti tieteellistä jokijäihin keskittyvää tutkimusta.

Kymijoella suurin ongelma on suppojää, joka aiheuttaa vahinkoja lähes joka vuosi. Suppojää tukkii teollisuuslaitosten vedenottoputket ja tarttuu vesivoimalaitosten patoluukkujen välppiin. Suppojääta muodostuu joessa erityisen paljon, kun lämpötilat ovat reilusti pakkasella eli juuri silloin, kun sähkönkulutus on korkeimmillaan ja vesivoimalaitosten säädöllä olisi erityisesti tuotannon ohjauksessa suuri taloudellinen merkitys (Reiter 1989). Suomen vesivoimalaitoksille jään aiheuttamia taloudellisia vahinkoja on esitetty kuvassa 1-1.



Kuva 1-1. Vesivoimalaitosten jääongelmista aiheutuneet kustannukset vaikeina talvina (muokattu Reiter 1989 mukaan)

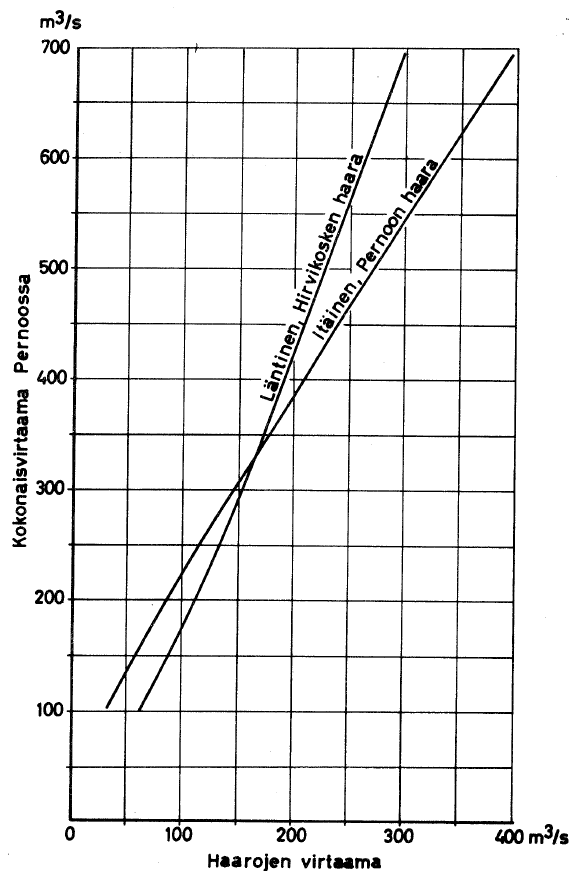
Tämän lisäksi pohjaan tarttunut suppojää muodostaa hyytöpatoja, jotka nostavat veden korkeutta ja aiheuttavat tulvia. Kymijoen alaosalla onkin harjoitettu hyydöntorjuntaa jo vuosisatojen ajan. Ensimmäinen maininta hyydöntorjunnasta on jo vuodelta 1575, jolloin asukkaat onnistuivat rikkomaan hyytöpatoja ja pelastamaan kotinsa täydelliseltä tuholta (Väkevä 2004).

Jääkansi eristää tehokkaasti, joten jos joessa on kiinteä jääkansi, suppojää ei pääse syntymään. Tästä syystä Kaakkois-Suomen ELY-keskus asentaa Kymijoen alaosille vuosittain noin 20 hyytöpuomia (Väkevä 2004). Hyytöpuomi hidastaa pintavirtausta ja kerää virtauksen mukana kulkevaa suppojäätä ja edesauttaa näin kiinteän jääkannen muodostumista.

1.2 Kymijoen yleispiirteet

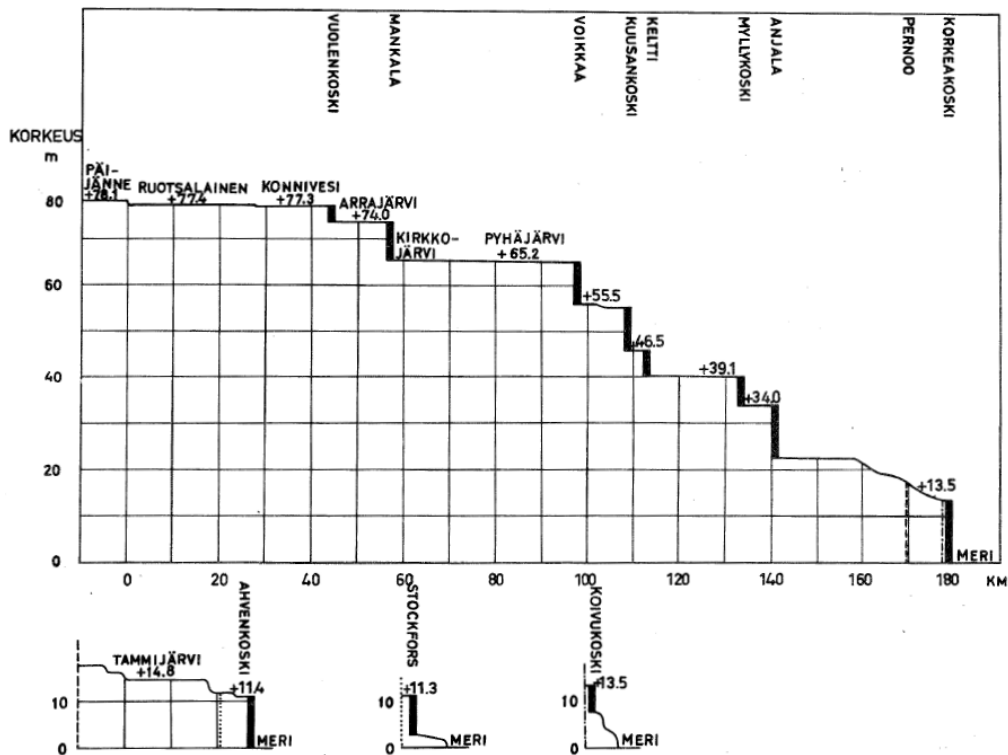
Kymijoki sijaitsee Kaakkois-Suomessa ja laskee Itämerelle Suomenlahteen. Jääpeite kattaa Kymijokea useiden kuukausien ajan vuodessa, ja suppojää, pohjapadot ja kelluvat jääpadot aiheuttavat ongelmia käytännössä joka vuosi. Kymijoen valuma-alueen pinta-ala on 37 107 km², joka kattaa lähes 11 % Suomen pinta-alasta. Kymijoki on valuma-alueeltaan ja virtaamaltaan maamme neljänneksi suurin joki. Joen järvisyysprosentti on 19,7 %, ja järvet sijaitsevat lähinnä joen yläjuoksulla. Yksi suurimmista järvistämme, Päijänne, kuuluu valuma-alueeseen. Kymijoen keskisyvyys on 9,5 metriä, ja sen syvin kohta on 27 metriä. (Kaakkois-Suomen ympäristökeskus 2008)

Joki jakautuu alajuoksulla kahteen päähaaraan, ja molemmat niistä jakautuvat edelleen kahteen haaraan ennen kuin joki saavuttaa Suomenlahden. Vedenjako päähaarojen välillä hoidetaan Hirvivuolteen automaattisella säännöstelypadolla. Virtaamajaon raja-arvona on pääuoman virtaama 340 m³/s (Vesihallitus 1972). Tätä pienemmällä virtaamalla yli puolet kokonaisvirtaamasta virtaa länteen ja suuremmalla virtaamalla taas itään (Kuva 1-2).



Kuva 1-2. Virtaaman jakautuminen Kymijoen päähaaroihin (Vesihallitus 1972)

Varsinainen Kymijoki alkaa Päijänteen kaakkoisosasta, Asikkalan kunnassa sijaitsevasta Kalkkisesta, josta merelle Ahvenkosken lahteen kertyy matkaa 203 kilometriä ja putouskorkeutta 78,5 metriä. Kymijoen korkeusprofiili on esitetty kuvassa 1-3. Keskimääräinen sademäärä on 570 mm/vuosi joen yläosissa ja 610 mm/vuosi joen alaosissa. Keskimääräinen virtaama joen pääuomassa on 283 m³/s (Kaakkois-Suomen ympäristökeskus 2008). Tämän tutkimuksen aikana talvella 2011/2012 virtaama oli huomattavasti suurempi kuin se on keskimääräisesti.



Kuva 1-3. Kymijoen korkeusprofiili (Vesihallitus 1972)

Kymijoen varrella on ollut aina paljon teollisuutta. Nykyään teollisuuslaitosten päästöjä valvotaan hyvin tarkkaan, mutta ennen jokeen valui paljon päästöjä. Kymijoen vedenlaatu on nykyään kohtuullisen hyvä, sillä suurin osa saasteista on sitoutuneena joen pohjasedimentteihin. Pohjasedimentteihin on sitoutuneena mm. dioksiineja ja furaaneja (PCDD/F-yhdisteitä) sekä elohopeaa. PCDD/F-yhdisteiden kokonaismääräksi on arvioitu 6000 kg ja elohopean 2800 kg. Pilaantuneiden sedimenttien kokonaismääräksi on arvioitu 5 miljoonaa m³. (Hanski 2007)

Kymijoki on tärkeä vesivoiman lähde. Kymijoen varrella on yhteensä 13 vesivoimalaitosta, joista ensimmäiset on rakennettu jo 1800-luvun lopulla. Vesivoimalaitosten yhteenlaskettu teho on 200 MW ja vuosituotanto 1200 GWh (Reiter 1989). Vesivoimalaitokset kärsivät joka talvi jään aiheuttamista ongelmista, varsinkin suppojäästä. Voimalaitokset asentavatkin omia jääpuomeja voimalaitosten yläjuoksun puolelle turvatakseen toimintansa myös talvella.

1.3 Tutkimuksen tavoitteet

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli valita sopivat mittauspisteet Kymijoen pääuomasta, kaikista haaroista ja lähtöjärvistä sekä tutkia niiden sopivuutta kuvaamaan Kymijoen olosuhteita joen eri osissa.

Toisena tavoitteena oli tutkia kerätty aineisto ja koostaa niistä kattava kuva Kymijoen jääolosuhteista ja vedenlaadusta talviaikana. Tässä työssä vedenlaadulla tarkoitetaan veden happitilannetta, sameutta, kiintoaineksen määrää, pH:ta, sähköjohtavuutta ja veden optisia ominaisuuksia (sironta). Kymijoelta kerättiin useita jää- ja vesinäytteitä, joista analysoitiin jääkannen kiderakennetta ja vedenlaatua. Näitä tietoja voitiin verrata Kymijoen vesi- ja ympäristö ry:n vedenlaatututkimuksiin, Suomen ympäristökeskuksen virtaamahavaintoihin ja Ilmatieteen laitoksen säähavaintoihin.

1.4 Tutkimuksen toteutus

Tutkimus toteutettiin Kymijoella talven 2011–2012 aikana. Kymijoki on Suomen neljänneksi suurin joki, ja kenttätutkimukset voitiin suorittaa päivämatkoina Helsingistä käsin, joten se soveltui tähän tutkimukseen erittäin hyvin. Kymijoki oli sopiva tutkimuskohde myös sen takia, että sieltä on hyvin saatavilla ulkopuolisten tutkimuslaitosten tutkimustietoja omien tutkimusteni tueksi.

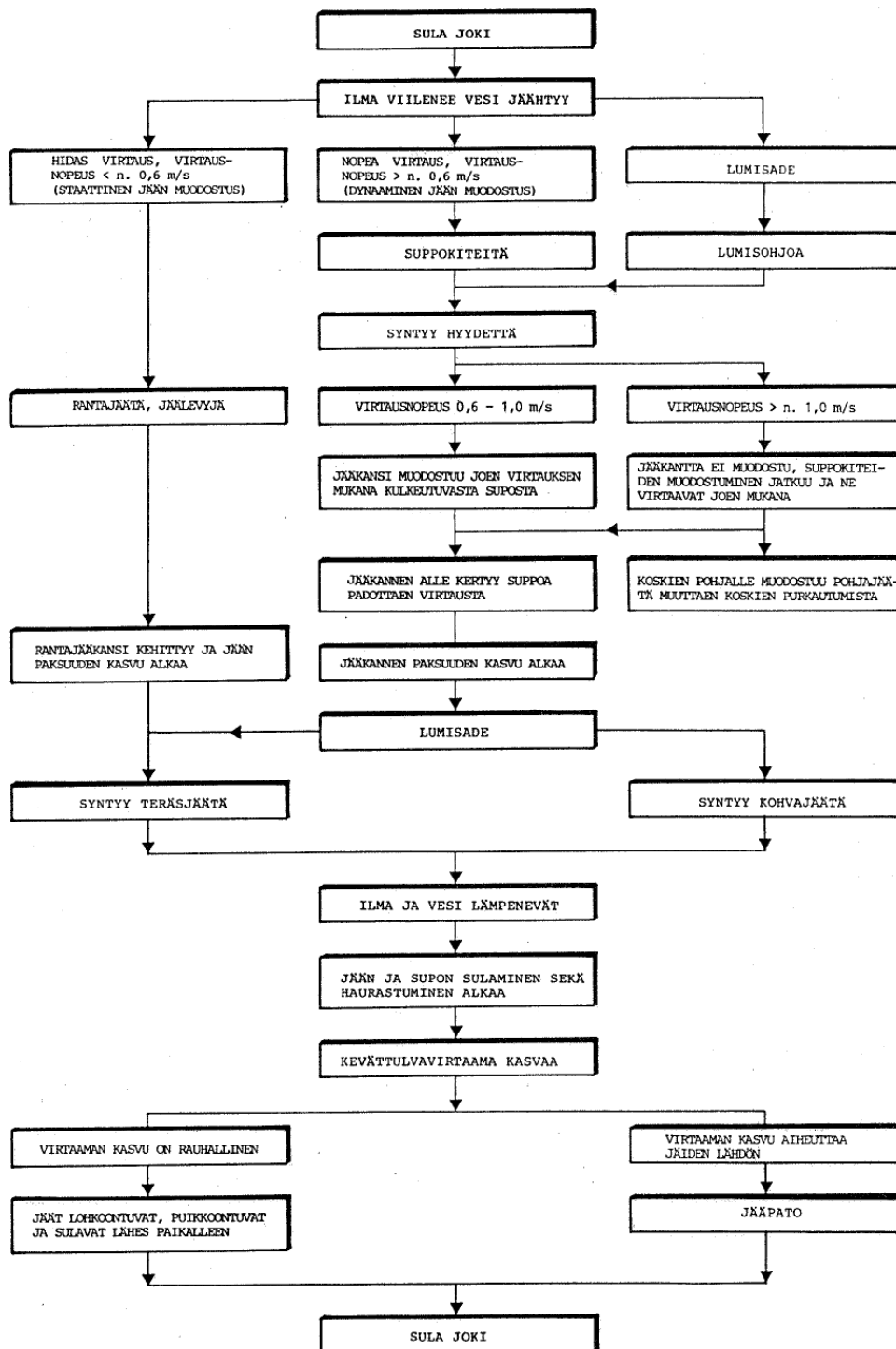
Tutkimuksen aikana tehtiin avoveden aikana kaksi kenttämатkaa, joilla tutkittiin vedenlaatua Kymijoen kaikissa haaroissa ja lähtöjärvissä. Lisäksi tehtiin kaksi kenttämатkaa Kymijoen alaosille, joilla tutkittiin joen jääolosuhteita ja vedenlaatua. Kaikilta mittauspisteiltä otettiin vesinäytteet, ja talvella mittauspisteiltä otettiin myös jäänäytteet kiderakenteen analysointia varten.

2. Jokien jääolosuhteet

2.1 Joki- ja järvijään erot

Jokien jäätyminen, jääkannen kasvaminen ja sulaminen ovat kaikki hyvin erilaisia prosesseja kuin järvissä tai merissä. Tämä johtuu joissa esiintyvistä jääolosuhteiden

kannalta merkittävistä virtauksista ja huomattavasta turbulenssista. Tästä syystä virtausolosuhteet vaikuttavat joen jääoloihin yhtä paljon kuin meteorologiset olosuhteet. Jokien talviajan virtausolosuhteisiin puolestaan vaikuttavat samanaikaisesti joen hydrauliikkaan, hydrologiaan ja meteorologiaan liittyvät tekijät. Vesistöjen säännöstelyllä on myös huomattava merkitys. Näistä kaikista syistä johtuen jokien jääolosuhteet ovat hyvin erilaisia verrattuna järviin tai meriin, ja jokien jääolosuhteita on erittäin vaikea ennustaa. Vain hitaan virtauksen alueilla ($< 0,6$ m/s) joessa ei muodostu suppoa eikä keväisiä jääpatoja, joten joen jääolosuhteet ovat samantapaisia kuin järvissä (Reiter 1989). Kun virtausnopeus on hyvin suuri (> 1 m/s), kiinteää jääkantta ei kehity jokeen ollenkaan (Reiter 1989). Kuvassa 2-1 on esitetty kaaviokuvana jokijäiden eri vaiheet ja virtausnopeudesta riippuen jääkannen eri kehityssuunnat. Lumisateen vaikutus on kuvassa 2-1 huomioitu suppo- ja kohvajään kehityksessä, mutta lumen eristävä vaikutus on jätetty pois tarkastelusta. Muilta osin kuva 2-1 vastaa hyvin nykyistä käsitystä jokien jääkannen kehitysvaiheista ja on hyvin samankaltainen kuin esimerkiksi Shenin (2010) esittämä kaavio jokijääprosesseille.



Kuva 2-1. Kaaviokuva jokien jääolosuhteista (Reiter 1989)

2.2 Jäätyminen

2.2.1 Jääkannen muodostuminen

Suppojää

Jokien jäätymistä edeltää veden jäähtyminen. Jokivedet ovat turbulenssista johtuen pääosin hyvin sekoittuneita lukuun ottamatta hyvin hitaasti virtaavia osioita aivan joen reunoilla. Tästä johtuen myös veden lämpötila on yhdenmukainen koko joen syvyydeltä ja leveydeltä. Kun vesi alijäähtyy muutaman sadasosan alle jäätympisteeseen, niin vedessä alkaa syntyä pieniä jääkiteitä eli suppojäättä.

Jotta jääkide voisi muodostua vedessä, niin veteen pitää muodostua pieni jääkiteen alku. Tähän vaadittava energia on verrannollinen pinta-alaan. Koska jäätymisessä vapautuva energia on verrannollinen tilavuuteen, näiden kahden energian tulos on negatiivinen hyvin pienelle kiteelle. Tästä syystä kide voi kasvaa vain jos sen koko on suurempi kuin kriittinen säde

$$R_{crit} = \frac{2\sigma T_0}{L\Delta T\rho_i} = \frac{5,9 \times 10^{-8}}{\Delta T} \quad (2-1)$$

jossa R_{crit} on kriittinen säde (cm), σ on pintajännitys kiinteän/nesteen rajapinnalla, T_0 on jäätympiste (tasapainolämpötila jään ja veden välillä), L on jäätymlämpö, ΔT on alijäähtymisen määrä ja ρ_i on jään tiheys (Ashton 1986). Kaava 2-1 on pyöreän kappaleen Kelvinin yhtälö ja sen mukaan kriittinen säde on kääntäen verrannollinen alijäähtymiseen. Tästä herää kysymys, että miten suppojääkiteet muodostuvat kriittistä sädettä suuremmiksi. Suppojää voisi teoriassa kiteytyä vedessä oleviin kiintoainepartikkeleihin, mutta Ashton (1986) viittaa kahteen tutkimukseen (Roberts ja Hallet 1976, Thijssen et al. 1968), joiden mukaan suurin osa materiaaleista toimii jään kiteytymisytiminä vain, kun niiden lämpötila on useita asteita jäätympisteeseen alapuolella. Havaintojen mukaan jokivesi on suppojään muodostuessa kuitenkin vain asteen osia alle jäätympisteeseen, joten tämä heterogeeninen nukleatio ei selitä suppojään muodostumista (Ashton 1986). Yleisesti uskotaan, että suppojää syntyy

jokivedessä sekundäärisenä nukleaationa jääkiteisiin, jotka tulevat veteen ulkoisesta lähteestä esimerkiksi lumisateesta tai alijäähtyneessä sumussa tiivistyneistä jääkristalleista jotka tippuvat veteen (Hicks 2009).

Suppojääkiteet ovat yleensä kiekon muotoisia, mutta myös neulasmaisia suppojääkiteitä on havaittu (Hicks 2009). Suppojääkiteiden läpimitta on vain muutaman millimetrin ja sen takia ne pysyvät mukana turbulenttisessa virtauksessa. Suppojään määrä lisääntyy vedessä niin kauan kuin jääkiteiden kasvussa vapautuu energiaa vähemmän kuin pinnan kautta poistuu (Qu ja Doering 2007). Pinnan lämpöhäviö voi olla jopa 200 W/m^2 , ja sen kompensoitumiseksi pitää muodostua jäätä $0,65 \text{ cm}^3$ sekunnissa. Jos jääkiteen maksimitilavuus on noin $0,1 \text{ mm}^3$, jääkiteitä täytyy muodostua ja niiden jatkaa kasvuaan 6500 kappaletta sekunnissa neliometriä kohti (Ashton 1986).

Pinnan lämpöhäviön takia muodostuvan suppojään määrää voidaan arvioida yksinkertaisella lämpötaseen kaavalla

$$Q_{jää} = \frac{\Phi b l}{\rho_i L} \quad (2-2)$$

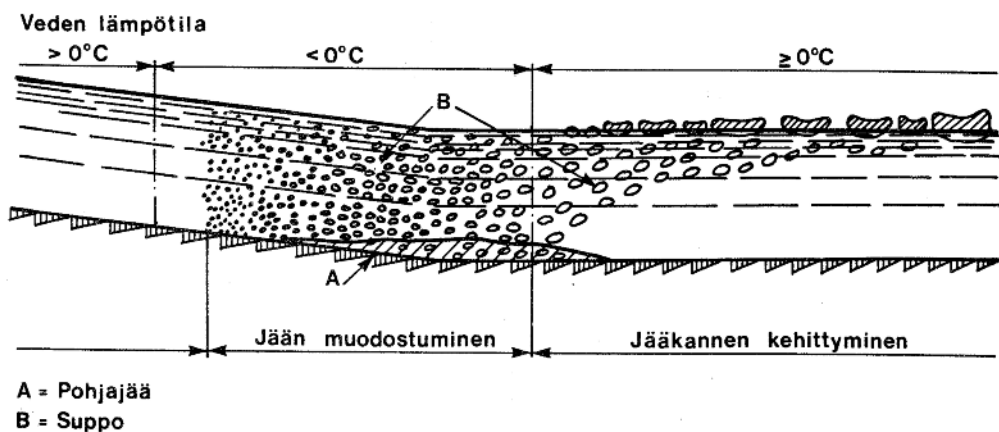
jossa $Q_{jää}$ on kiinteän jään tuotantonopeus (m^3/s), Φ on pinnan lämpöhäviö (W/m^2), b on joen leveys (m) ja l on joen pituus (m) (Aston 1986).

Ensijää ja reunajää

Matalilla alueilla, joen reunoilla ja saarien ympäristössä, jossa virtaus on hyvin pieni ($< 0,1 \text{ m/s}$) ja turbulenssi on vähäistä, jääkiteet muodostavat joen ja joessa olevien rakenteiden reunoille ohuen yhtenäisen kalvon, jota kutsutaan ensijääksi (Hicks 2009). Ensijää eristää tehokkaasti ja jään alla vesi ei enää alijäähdy. Kunhan ensijää on muodostunut, jääkansi kasvaa lähinnä termisesti kahdella tavalla, sivusuunnassa pinnalla ja paksuutta alaspäin, sillä lämpöä menetetään jään läpi ja joen penkkoihin. Tämä jää muodostuu yleensä kiinni joen reunoihin tai rakenteisiin ja sen takia sitä kutsutaan yleisesti reunajääksi. Vedenpinnan korkeusvaihtelut voivat murtaa reunajään tai irrottaa sen joen reunoista.

Lautasjää

Alijäähtyneessä tilassa olevat suppojääkiteet tarttuvat hyvin helposti toisiinsa ja ne muodostavat veteen jääsohjoa. Lopulta suppojääkasaumat kasvavat niin isoiksi, että turbulenssi ei pysty enää pitämään niitä pinnan alla, ja ne nousevat veden pinnalle (Kuva 2-2). Kasaumien pinta jäätyy, ja näin syntyneitä lauttoja kutsutaan niiden pyöreän muodon vuoksi lautasjääksi (Kuva 2-3). Lautasjään lautasreunat ovat yleensä hyvin rosoisia ja kohonneita johtuen niiden törmäilystä toisiaan vasten. Lautasjäässä oleva suppojää on voinut olla kiinnittyneenä pohjaan ennen kuin kasauma on kasvanut riittävästi noustakseen pintaan, ja tästä syystä lautasjäässä saattaa olla kiinnittyneenä joen pohjasedimenttejä.



Kuva 2-2. Jääkannen kehittymisen alkuvaiheita (Reiter 1989, muokattu Michel 1971 mukaan)

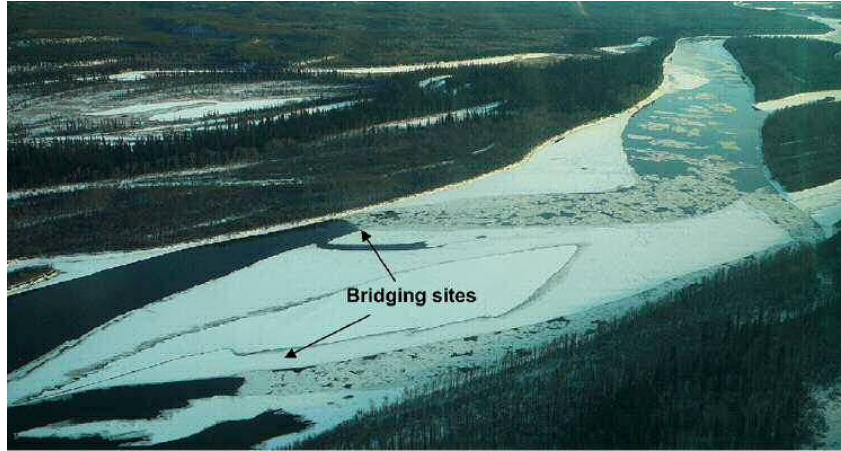


Kuva 2-3. Lautasjäättä North Saskatchewan joella, Alberta, Kanada (Hicks 2009)

Kun veden pinnalla on riittävästi lautasjäättä, ”jäälautaset” tarttuvat toisiinsa muodostaen isompia lauttoja. Lautasjää voi tarttua myös reunajäähän, joka lisää reunajään kasvua merkittävästi. Reunajään kasvullakin on kuitenkin rajansa, sillä jos joessa virtaa riittävästi suppojäälauttoja, ne repivät mukaansa myös paikallaan olevaa jäättä (Hicks 2009).

Jääsillakkeet

Kun jään määrä vedenpinnalla on 80–90 %, joessa virtaavat jäälautat voivat ruuhkautua ja muodostaa jääsillakkeita jokeen (Hicks 2009). Tyypillisesti jääsillakkeita syntyy joen mutkiin, kapeikkoihin tai joessa oleviin rakenteisiin, kuten siltojen pylväisiin. Myös reunajää voi aiheuttaa jokeen kapeamman kohdan, johon syntyy jästä sillake (Kuva 2-4).

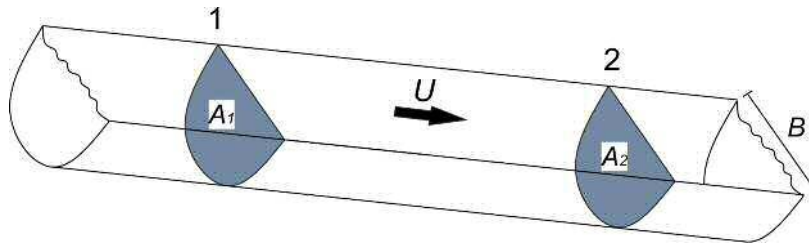


Kuva 2-4. Jääsillakkeita Athabasca joella, Alberta, Kanada (nuolilla osoitettu sillakkeiden paikat)
(Hicks 2009)

Pinnalla kelluvan jään määrän ja joen hydraulisten ominaisuuksien avulla voidaan arvioida jääsillakkeiden muodostumista. Jääpitoisuus on jääpeitteisen pinta-alan suhde joen kokonaispinta-alaan. Kun jääpitoisuus on yksi, koko joen pinta on jään peitossa. Tarkastellaan joessa, jonka leveys on B , poikkileikkauksia 1 ja 2 (Kuva 2-5). Jääpitoisuus on C , ja keskimääräinen pintavirtauksen nopeus on U . Mikäli poikkileikkausten välillä ei synny uutta jäätä, ja jäälautat eivät ole kokoonpuristuvia, niin jatkuvuusyhtälö voidaan esittää muodossa

$$C_1 B_1 U_1 = C_2 B_2 U_2 \quad (2-3)$$

Mikäli virtaama on vakio ja keskimääräisten pintavirtauksien nopeuksien suhde on vakio, niin hydraulinen jatkuvuus edellyttää, että $U_1 A_1 = U_2 A_2$, joten $C_2 = C_1 Y_{m2}/Y_{m1}$, jossa Y_m on hydraulinen syvyys (A/B) ja A on poikkileikkauksen pinta-ala. Poikkileikkaukset, joissa $C_2 \geq 1$ ovat potentiaalisia jääsillakkeiden esiintymispaikkoja. (Ashton 1986)

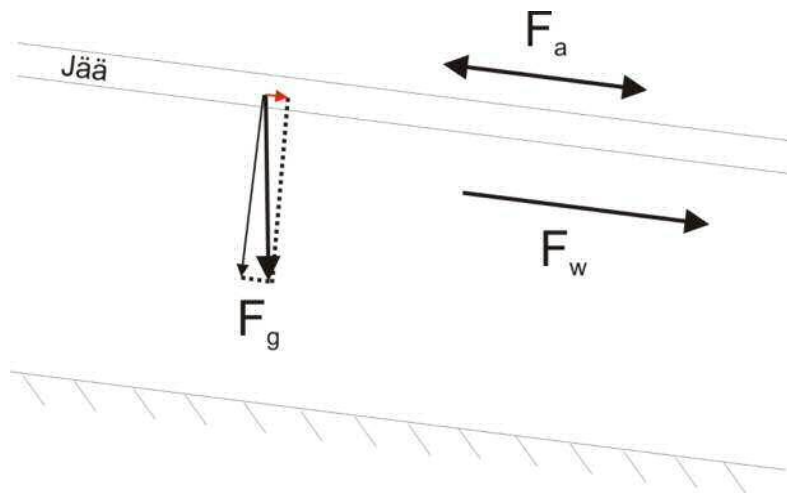


Kuva 2-5. Havainnekuva joen poikkileikkauksista.

Sillake estää jäälauttojen kulkeutumisen virtauksen mukana ja kokoaa niitä vierekkäin. Jos lämpötilat ovat riittävän alhaisia, jäälautat jäätyvät toisiinsa kiinni ja muodostavat jokeen kiinteän jääkannen. Jäälautat saattavat kuitenkin kulkeutua virtauksen mukana jääkannen alle ja kertyä sinne, jos virtaus on riittävän suuri. Tätä kutsutaan jääkannen hydrauliseksi paksuuntumiseksi. Se johtaa vedenpinnan nousuun ylävirran puolella ja virtausnopeuden vähenemiseen.

Röykkiöitynyt jää

Jääkantta kokoon puristavat voimat kasvavat samalla, kun jääkansi jatkaa kasvuaan. Jääkantta puristavat veden virtauksen ja tuulen aiheuttamat kitkavoimat ja jään oman massan uoman suuntainen massan komponentti ja kokonaisvoima kasvaa kun jääkentän koko kasvaa (Kuva 2-6).



Kuva 2-6. Jääkantta puristavat voimat. F_g = jään massa (uoman suuntainen massan komponentti punaisella nuolella), F_a = tuulen kitkavoima, F_w = veden kitkavoima

Kun jäätä puristavat voimat ylittävät jääkantta koossa pitävän jääkannen sisäisen vastuksen, niin jääkansi murtuu ja röykkiöityy (Kuva 2-7). Tämä lisää jääkannen paksuutta ja karkeutta huomattavasti ja aiheuttaa vedenpinnan nousua yläjuoksun puolella. Lisäksi jäälauttojen välissä oleva vesi jäätyy ja vahvistaa jääkantta. Jos jää röykkiöityy riittävän suurelta alalta ja jäätyy kiinteäksi jääkanneksi, se saattaa aiheuttaa tulvan yläjuoksun puolelle, tällöin sitä kutsutaan jäätymisvaiheen jääpadoksi (Hicks 2009).



Kuva 2-7. Röykkiöitynyttä jäätä Kymijoen Kokonkoskella (mittauspiste Kymi5) (Kuva: Tom Kokkonen, Helsingin yliopisto, 24.2.2012)

Jääkannen kasvaminen

Jääkannen peittävyiden kasvaminen

Kun suppojää, jääsohjo tai jäälautat kulkevat virtauksen mukana kohtaan, jossa on kiinteä jääkansi tai muu virtausta estävä este kuten jääpuomi, ne voivat pysähtyä esteeseen tai kulkeutua sen alle. Mikäli jää pysähtyy esteen reunaan, jää kasautuu, jäätyy kiinteäksi jääkanneksi, joka kasvaa yläjuoksun suuntaan. Tämä mekanismi on yksi yleisimmistä jokien jääkansien kasvutavoista (Ashton 1986).

Jääkasauman vakautta tutkimalla voidaan päätellä, pysähtyykö jää esteen reunalle vai kulkeutuuko se jääkannen alle. Ashton (1986) viittaa Michelin (1978) tutkimukseen, jossa tämä esittää kaavan jääkasauman vakaudelle

$$\frac{V}{\sqrt{gY}} < \sqrt{2(1 - \rho_i / \rho_w)(1 - e)(h / y)} \left(1 - \frac{h}{y}\right) \quad (2-4)$$

Tässä V ja Y ovat virtausnopeus ja syvyys yläjuoksun puolella esteestä, g on gravitaatiokiihtyvyys, ρ_w ja ρ_i ovat veden ja jään tiheys, e on jääkasauman huokoisuus esteen reunalla, h on jääkasauman paksuus esteen reunalla ja y on vapaan virtauksen syvyys esteen reunalla.

Yhtälön (2-4) vasen puoli on virtauksen Frouden luku ja sitä voidaan pitää kriittisenä yläjuoksun Frouden lukuna jääkasauman vakaudelle. Yhtälöstä nähdään, että mitä huokoisempi jääkasauma on, sitä pienempi on kriittinen Frouden luku eli sitä helpommin jää kulkeutuu virtauksen mukana jääkannen alle. Sopivissa virtausolosuhteissa suppojääkasaumat ja lautasjää saattavat pysähtyä esteen reunalle, mutta huokoisempi suppojää kulkeutuu jääkannen alle. Lämpötila vaikuttaa myös, sillä kovilla pakkasilla suppojääkasaumien välissä oleva vesi jäätyy ja kasaumat eivät ole niin huokoisia, jolloin ne pysähtyvät esteen reunalle helpommin. Lämpimällä säällä kaikki vesi ei jäädy ja suppojääkasaumat ovat huokoisempia ja kulkeutuvat helpommin jääkannen alle virtauksen mukana.

Syvän joen tapauksessa vapaan virtauksen syvyys (y) on paljon suurempi kuin jääkasauman paksuus (h) esteen reunalla, ja suunnilleen yhtä suuri kuin syvyys (Y) yläjuoksun puolella esteen reunasta, joten yhtälöä 2-4 voidaan yksinkertaistaa

$$V = \sqrt{2g(1 - \rho_i / \rho_w)(1 - e)h} \quad (2-5)$$

Tästä yhtälöstä voidaan päätellä, että kriittinen virtausnopeus on verrannollinen jääkasauman paksuuden neliöjuureen. Tästä syystä jääkansi ei ole tasapaksu, vaan se on suurempi kohdassa, jossa virtausnopeus on suurempi. (Ashton 1986)

Jos piirretään kuvaaja kriittisestä Frouden luvusta h/y :n suhteen kaavan 2-4 mukaan, nähdään että kriittisellä Frouden luvulla on maksimi

$$Fr_{\max} = \frac{V_{\max}}{gY} = 0,158(1-e)^{1/2} \quad (2-6)$$

Tässä kaavassa on oletettu, että ρ_i/ρ_w on arvoltaan 0,916. Jos yläjuoksun puoleinen Frouden luku on suurempi kuin kriittinen arvo, niin kaikki virtaava jää kulkeutuu virtauksen mukana jääkannen alle riippumatta jääkannen paksuudesta. (Ashton 1986)

Jääkannen paksuuden kasvaminen

Kiinteän jääkannen paksuus voi kasvaa ylä- tai alapuolelta. Jääkannen yläpuolelle voi muodostua kohvajäätä, kun lumipeite on niin paksu, että se painaa jääkantta alaspäin. Kun jääkansi painuu riittävästi, siihen muodostuu halkeamia, ja vesi pääsee tulvimaan jään päälle. Tämä veden ja lumisohjon seos jäätyy kohvajääksi. Jääkannen painumista vedenpinnan alle voidaan arvioida yksinkertaisella tasapainoyhtälöllä (Zubov 1944)

$$h_s \rho_s = h_i (\rho_w - \rho_i) \quad (2-7)$$

jossa h_s on lumen paksuus, h_i on jään paksuus ja ρ_s on lumen tiheys.

Jos veden lämpötila on 0 °C, jokiveden tiheydeksi voidaan ottaa $\rho_w = 1,0 \text{ g/cm}^3$ ja jään tiheydeksi $\rho_i = 0,9 \text{ g/cm}^3$. Näillä arvoilla kaavasta 2-7 saadaan

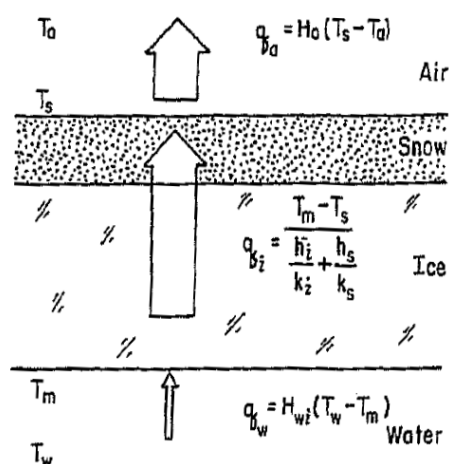
$$h_s \rho_s = h_i \cdot 0,1 \text{ g/cm}^3 \quad (2-8)$$

Uuden lumen tiheys vaihtelee välillä $\rho_s = 0,10 - 0,12 \text{ g/cm}^3$, hieman vanhemman lumen tiheys on välillä $\rho_s = 0,15 - 0,16 \text{ g/cm}^3$ ja rakeisen lumen tiheys on välillä $\rho_s = 0,20 - 0,25 \text{ g/cm}^3$ (Palosuo 1965). Näillä arvoilla kaavan 2-8 mukaan kriittinen arvo lumen paksuudelle (h_s) on karkeasti h_i :n ja $h_i/2$ välillä. Kymijoen tapauksessa $0,2 \text{ g/cm}^3$ voisi olla sopiva arvio lumentiheydelle, jolloin lumen paksuuden kriittinen arvo on $h_i/2$.

Vettä voi tulla jään päälle myös esimerkiksi sivujoesta, vedenpinnan korkeuden vaihteluiden seurauksena, vesisateesta tai lumen osittaisesta sulamisesta.

Jos jään päällä ei ole riittävän paksua eristävää lumipeitettä, jääkannen läpi tapahtuu lämpöhäviötä, jolloin jääkannen alaosaan muodostuu teräsjäätä. Riittävän paksu jääkansi voi itsessään myös eristää niin paljon, että teräsjäätä ei pääse muodostumaan enempää.

Kuvassa 2-8 on havainnoitu lämmön siirtymistä vedestä jään ja lumen läpi ilmakehään. Jään lämpötilaprofiilin voidaan ajatella olevan lineaarinen, vaihdellen pinnan lämpötilasta (T_s) jään alapinnan lämpötilaan ($T_m = 0$) (Ashton 1986).



Kuva 2-8. Havainnekuva lämmön johtumisesta jään läpi ilmakehään. T_a on ilman lämpötila, T_s on lumen pintalämpötila, T_m on jään alapinnan lämpötila, T_w on veden lämpötila, h on jään paksuus ajan t suhteen ja k_i on jään lämmönjohtokerroin (Ashton 1986)

Ylöspäin suuntautuvaa lämpövuota (q_i) jään läpi, voidaan kuvata vakaan tilan lämmönjohtumisyhtälöllä

$$q_i = -\frac{k_i}{h}(T_m - T_s) \quad (2-9)$$

Jos veden lämpötila on heti jään alla $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja lämpimämpää syvemmällä, tämä lämpöhäviö aiheuttaa jäänmuodostusta seuraavan kaavan mukaan

$$\rho_i L \frac{dh}{dt} = \frac{-k_i}{h}(T_m - T_s) \quad (2-10)$$

Jos kaavaa 2-10 integroidaan käyttäen lähtöarvoina $h = 0$ ja $t = 0$, saadaan tulokseksi Stefanin yhtälö

$$h = \left[\frac{-2k_i}{\rho_i L} \int_0^t (T_m - T_s) dt \right]^{1/2} \quad (2-11)$$

$$= \alpha \left[\int_0^t (T_m - T_s) dt \right]^{1/2} \equiv \alpha S^{1/2}$$

Tämä kaava on vain suuntaa antava arvio, mutta useissa tapauksissa riittävä ennustamaan jääkannen paksuuntumista, varsinkin jos ilman lämpötiloista ja lumen paksuudesta ei ole riittävän tarkkoja tietoja käytössä. Tyypilliset empiiriset arvot α :lle ovat noin 60–80 % kaavan 2-11 antamista teoreettisista arvoista. (Ashton 1986)

Kaavassa 2-11 on jouduttu tekemään monia olettamuksia, jotta sitä on saatu yksinkertaistettua. Mittausten puutteen takia joudutaan usein myös tekemään olettamus jonka mukaan pinnan lämpötila on sama kuin ilman lämpötila. Tämä olettamus on huono, kun jää on ohutta, mutta kohtalainen kun jään paksuus on vähintään 20–30 cm (Ashton 1986).

Kaavassa 2-11 ei ole otettu huomioon lumen eristävää vaikutusta, jolla on huomattava merkitys jään kasvulle. Lumen vaikutusta arvioitaessa pitäisi tehdä hyvin yksityiskohtaisia energiataseen laskuja ja jään lämpödiffuusion analysointia johon on sisällytetty lumen vaikutus jääkannen päällä (Ashton 1986). Nämä laskutoimitukset eivät ole yleensä mahdollisia käytettävissä olevalla ilmastodatalla. Seuraava analyysi on kompromissi, joka on huomattava parannus kaavaan 2-11 verrattuna, mutta silti riittävän yksinkertainen toteutettavaksi olemassa olevilla tiedoilla.

Kuvassa 2-8 on jääkerros, jonka paksuus on h_i , ja sen päällä on lumikerros, jonka paksuus on h_s . Mikäli oletamme, että lämpötilaprofili on molemmissa kerroksissa lineaarinen, niin kerroksia voidaan käsitellä peräkkäisinä resistansseina. Lämmön siirtokerroin (H_a) voidaan esittää muodossa (Ashton 1986)

$$H_a \equiv \frac{q_a}{T_s - T_a} \quad (2-12)$$

jossa q_a on lämpöhäviö ilmakehään. Jos kolme resistanssia yhdistetään ja esitetään kasvunopeus differenssimuodossa, niin jääkannen paksuuden kasvu Δh ajan suhteen Δt on (Ashton 1986)

$$\Delta h = \frac{\Delta t}{\rho_i L} \frac{T_m - T_a}{\frac{h_i}{k_i} + \frac{h_s}{k_s} + \frac{1}{H_a}} \quad (2-13)$$

jossa $1/H_a$ kuvaa lämpötilakorjausta jään pinnan ja ilman välillä.

Yhtälössä 2-13 on saatu eliminoitua monia niitä rajoituksia, joita on kaavassa 2-11. Kaavan 2-13 suurimmat rajoitukset ovat usein puuttuvat tiedot lumenpaksuudesta, -johtavuudesta ja H_a :n suuruudesta. Lumikerroksen johtavuutta voidaan arvioida lumen tiheydestä ja H_a :n suuruutta voidaan arvioida ilmakehän pintakerroksen tiedoista käyttämällä muutamia yksinkertaistuksia. Yksi tapa on esittää kaikki komponentit yhdessä yksinkertaisessa kaavassa, joka on riippuvainen tuulen nopeudesta (V_a) ja lämpötilaerosta. Ashton (1986) viittaa aikaisempaan tutkimukseensa (Ashton 1980), jossa tämä tuulifunktio esitetään muodossa

$$H_a = a + bV_a \quad (2-14)$$

Tyypilliset arvot H_a :lle vaihtelevat välillä $10 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ tyynelle olosuhteelle ja $25 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ tuulelle, jonka voimakkuus on noin 4 m/s .

Suurin etu kaavassa 2-13 on sen kyky ennustaa tarkasti jääkannen kasvunopeus hyvin pienillä jäänpaksuuksilla. Alkuvaiheen kasvunopeus kaavasta 2-13 on

$$\frac{\Delta h}{\Delta t} = \frac{H_a}{\rho_i L} (T_s - T_a) \quad (2-15)$$

Edellä olevat analyysit jääkannen paksuuntumisesta lämpöhäviön johdosta pätevät vain, kun ilman lämpötila on pakkasen puolella.

Jokiolosuhteissa jossa vesimassa liikkuu jään alla, pitää ottaa huomioon myös lämpimän veden aiheuttama lämpövuoto jäähän. Tätä lämpövuon (q_w) vaikutusta voidaan arvioida lisäämällä se kaavaan 2-10 (Ashton 1986)

$$\rho_i L \frac{dh}{dt} = \frac{-k_i(T_m - T_s)}{h} - q_w \quad (2-16)$$

jossa q_w lasketaan yleensä käyttämällä kerrointa, joka kerrotaan vedenlämpötilan ja jään alapinnan lämpötilaerolla. Sitä voidaan myös arvioida käyttämällä empiiristä kaavaa, joka on kehitetty suljetun kanavan virtaukselle (Ashton 1986)

$$\frac{H_{wi} R}{k_w} = C \left(\frac{UR\rho}{\mu} \right)^{0,8} \left(\frac{\mu c_p}{k_w} \right)^{0,4} \quad (2-17)$$

jossa $H_{wi}R/k_w$ on Nusseltin numero, $UR\rho/\mu$ on Reynoldsin numero, $\mu c_p/k_w$ on Prandtlin numero, R on hydraulinen säde, H_{wi} on lämmönjohtokerroin esim. $q_w = H_{wi}(T_w - T_m)$, T_w on veden lämpötila, μ on dynaaminen viskositeetti, c_p on veden ominaislämpökapasiteetti, k_w on veden lämmönjohtavuus, U on virtauksen keskinopeus ja C on kerroin, jonka arvo on noin 0,023–0,030 riippuen jääkannen alapinnan karkeudesta.

Riittävä tarkkuus saavutetaan, jos oletetaan että veden lämpötila on 0 °C ja käytetään siihen sopivia veden ominaisuuksien arvoja. Tällöin saadaan kaava

$$q_w = H_{wi} (T_w - T_m) = 1622 \frac{U^{0,8} (T_w - T_m)}{Y^{0,2}} \quad (2-18)$$

C :lle voidaan käyttää arvoa 0,023, syvyys $Y = 1$ m, $U = 0,3$ m/s ja $T_w - T_m = 0,1$ °C, jolloin kaavasta 2-18 saadaan tulokseksi $q_w = 62$ W/m². Tämä on merkittävä lämpövuoto ja sen takia veden lämpötilaolot tulisi tuntea tarkasti. (Ashton 1986)

2.2.2 Muita jokien jäätymiseen liittyviä ilmiöitä

Pohjajää

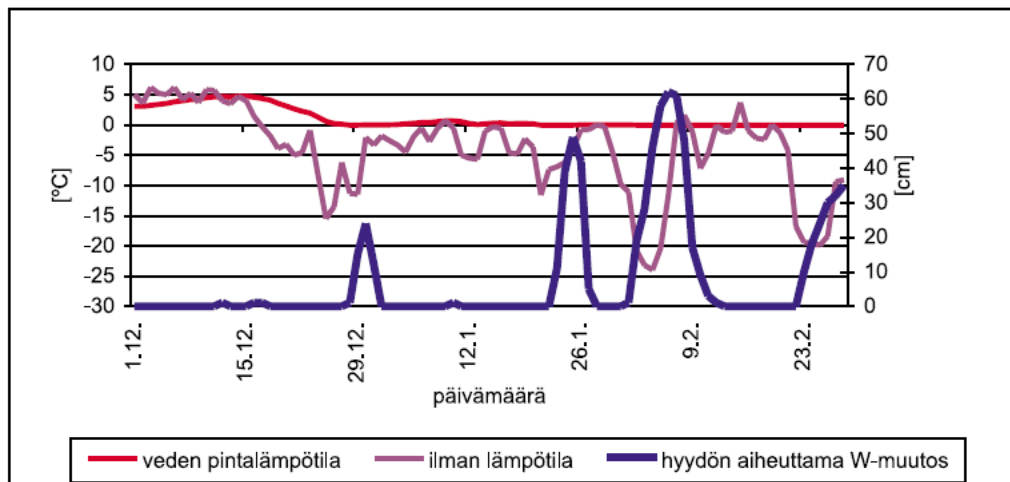
Kuten aikaisemmin mainittiin, tarttuu suppojää usein kiinni joen pohjasedimentteihin. Jos suppojää tarttuu kiinni riittävän isoon kiveen tai soraan, pitää pohjasedimentin paino jään kiinni pohjassa ja suppojää ei pääse nousemaan pintaan. Tällä tavalla muodostunutta jäätä kutsutaan pohjajääksi (Kuva 2-9). Pohjajäätä voi muodostua hyvinkin nopeasti, jos ilman lämpötila on riittävän kylmä ja joessa ei ole eristävää

jääkantta. Merkittävä määrä pohjajäätä voi padota jokea ja nostaa vedenpinnan korkeutta hyvinkin nopeasti ja aiheuttaa tulvia yläjuoksun puolella.



Kuva 2-9. Pohjajäätä Akujoella Tenojoen vesistöalueella (Niemelä 2009)

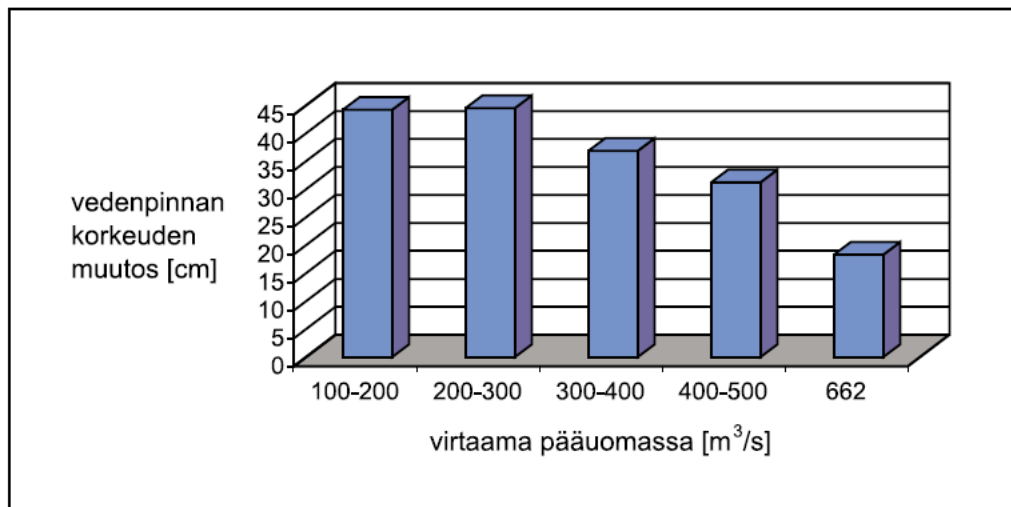
Kymijoella suurin raportoitu hyytöpadon aiheuttama vedenpinnan nousu yhden päivän aikana on ollut helmikuussa 1994, jolloin vedenpinnan nousu oli 120 cm (Väkevä 2004). Alla olevassa kuvassa 2-10 on esitetty ilman lämpötilan, veden pintalämpötilan ja hyydön vaikutusta vedenkorkeuteen talvella 2000–2001.



Kuva 2-10. Ilman lämpötila, veden pintalämpötila ja hyydön vaikutus vedenkorkeuteen hyydöntorjuntakautena vuosina 2000–2001 (Väkevä 2004)

Vaikka suurilla virtaamilla suppojäästä syntyy enemmän, niin silti poikkeuksellisen suurilla virtaamilla hyytöpatoja ei pääse syntymään niin paljon (Väkevä 2004). Poikkeuksellisen suuret virtaamat ja turbulenssi estävät osittain suppojään tarttumisen isompiin kiviin ja ne myös pitävät suppojään virtauksen mukana, vaikka se tarttuisikin pohjasedimentteihin.

Varsinaisella tarkastelujaksolla 1988–2003 ei ollut poikkeuksellisen suuria virtaamia Kymijoessa, joten tarkasteluun on otettu lisäksi talvi 1974–1975, jolloin Kymijoessa havainnoitiin viime vuosisadan ennätysvirtaama (13.1., 712 m³/s). Yli 650 m³/s virtaamilla suurin hyydön aiheuttama päivittäinen vedenkorkeuden nousu pakkaspäivinä oli 25 cm, keskiarvon ollessa 7,1 cm. Kuvan 2-11 tarkastelussa on huomioitu vain päivittäisarvot, jolloin hyydön aiheuttama vedenkorkeuden nousu oli yli 10 cm.



Kuva 2-11. Virtaaman vaikutus hyydön aiheuttamaan vedenkorkeuden nousuun vuosina 1988–2003. Vertailukohteena on keskimääräinen virtaama $662 \text{ m}^3/\text{s}$ talvelta 1974–75 (Väkevä 2004)

Paannejää

Paannejää muodostuu kerroksittain jo olemassa olevan jääkannen päälle. Hyvin matala joki, jossa on heikko virtaus, voi jäätyä pohjaan asti. Jos jokeen virtaa vielä jostain lisää vettä, se nousee jään halkeamista jään päälle ja muodostaa paannejääkerroksia. Paannejäättä voi jokeen syntyä myös päähaaraan virtaavista sivujoista, lähteistä tai kalliorinteistä valuvasta pohjavedestä (Kuva 2-12). Paannejäättä voi kertyä jääkannen päälle niin paljon, että se painaa jääkantta alaspäin ja aiheuttaa halkeamia, joista valuu vettä jään päälle.



Kuva 2-12. Paannejäättä muodostunut Athabasca joella kalliorinteestä valuvasta pohjavedestä, Alberta , Kanada (Hicks, 2009)

Roikkuva hyytöpato

Riittävän suuren virtaaman vallitessa jokeen ei synny jääkantta ollenkaan vaan muodostuu vain suppojääkkeitä. Kun joen virtaus vähenee, suppojääkkeitä voivat nousta pintaa kohden ja kiinnittyä jääkannen alle. Suppojäättä saattaa kasautua jääkannen alle huomattavia määriä ja muodostaa padon, joka estää veden virtausta. Tällaista patoa kutsutaan roikkuvaksi hyytöpadoksi. Hyytöpato saattaa ulottua lähes joen pohjaan asti, jolloin se aiheuttaa pahoja tulvia yläjuoksulle (Hicks 2009).

2.3 Jäiden lähtö

Jäiden lähtö joesta voi tapahtua termisesti tai dynaamisesti. Yleensä jäiden lähteminen tapahtuu osittain näiden molempien prosessien kautta. Vallitsevat hydrologiset ja meteorologiset olosuhteet määrittelevät sen kumpi näistä prosesseista on hallitseva.

2.3.1 Terminen jäiden lähtö

Termisellä jäiden lähdöllä tarkoitetaan tilannetta, jossa keväiset lämpötilat tulevat hiljalleen ja joen virtaamassa ei tapahdu suuria muutoksia. Silloin jäät sulavat lähes paikalleen ja joen virtauksen mukana ei kulkeudu suuria jäälauttoja, jotka voisivat aiheuttaa jääpatoja.

2.3.2 Dynaaminen jäiden lähtö

Dynaaminen jäiden lähtö tapahtuu, jos virtaama joessa kasvaa nopeasti. Näin voi käydä esimerkiksi, jos valuma-alueella sataa vettä tai lumet sulavat nopeasti, joka lisää valuntaa jokeen ja sitä kautta joen virtaamaa. Silloin jääkansi voi hajota jäälautoiksi, vaikka se olisikin vielä kestävä. Jäälautat kulkeutuvat virtauksen mukana ja saattavat kasautua joen mutkaan, joessa olevaan kapeampaan kohtaan tai joessa oleviin esteisiin kuten sillan rakenteisiin. Tällä tavalla syntynyt jääpato voi nostaa joen vedenkorkeutta nopeasti ja aiheuttaa pahoja tulvia yläjuoksulle. Jäiden lähtöön liittyvät tutkimukset keskittyvät lähinnä jääpatojen tutkimiseen, jotta jääpatoja ja niiden aiheuttamia tulvia pystyttäisiin ennustamaan ja ehkäisemään paremmin.

Keväisiä jääpatoja esiintyy erityisesti niissä vesistöissä, joissa virtaamavaihtelut ovat suuria ja joissa ei ole riittävästi järvi- tai tekoallastilavuutta tasoittamaan kevään tulvavirtaamahuippuja. Kymijoen järvisyysprosentti on kohtuullisen suuri (19 %) ja joen virtaamaa säännöstellään, joten keväisiä jääpatoja ei juuri esiinny (Reiter 1989). Pohjanmaalla ja Pohjois-Suomessa jokien järvisyysprosentti on pienempi ja se ei riitä tasoittamaan kevään tulvavirtaamahuippuja. Tästä syystä jääpadot aiheuttavat näillä alueilla pahoja tulvia lähes vuosittain. Pohjanmaalla ja Pohjois-Suomessa keväisiä jääpatoja pyritään ehkäisemään jokijäiden sahaamisella. Jääsahaukset ovat ennakoivaa tulvatorjuntaa, joilla helpotetaan jäiden lähtöä, jotta jääpatoja ei pääsisi syntymään (Ympäristöministeriö 2006). Niitä tehdään paikoissa, joissa jääpadot ovat aikaisemmin aiheuttaneet tulvia tai tulvavaaraa. Paikallisesti jääpadot ovat saattaneet

nostaa veden pinnan huomattavasti korkeammalle kuin kerran 250 vuodessa toistuva tulva (Timonen et al. 2003).

3. Tutkimusalue

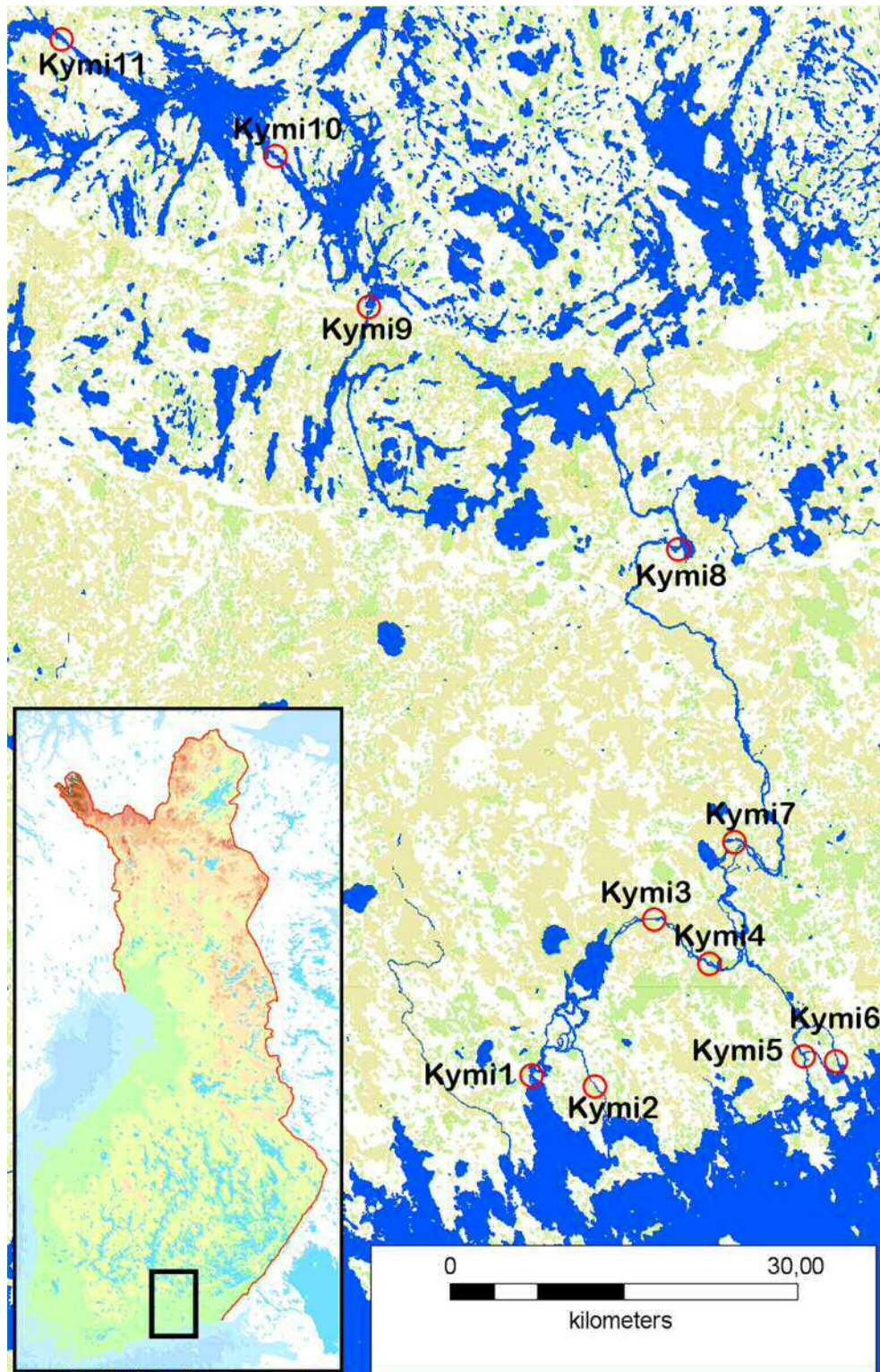
3.1 Mittauspisteet

Kymijoen varrella on paljon teollisuus- ja voimalaitoksia, ja joelle asennetaan talvisin monia hyytöpuomeja torjumaan jääongelmia (Kuva 3-2). Kymijoen alajuoksulla myös hyytöpadot aiheuttavat ongelmia, ja niitä räjäytellään lähes joka vuosi (Kuva 3-3). Tästä johtuen Kymijoella on hyvin erilaisia olosuhteita jääkannen kehittymisen ja jäiden aiheuttamien ongelmien kannalta. Mittauspisteet on valittu siten, että ne kuvastaisivat koko jokea ja sen eri olosuhteita mahdollisimman hyvin.

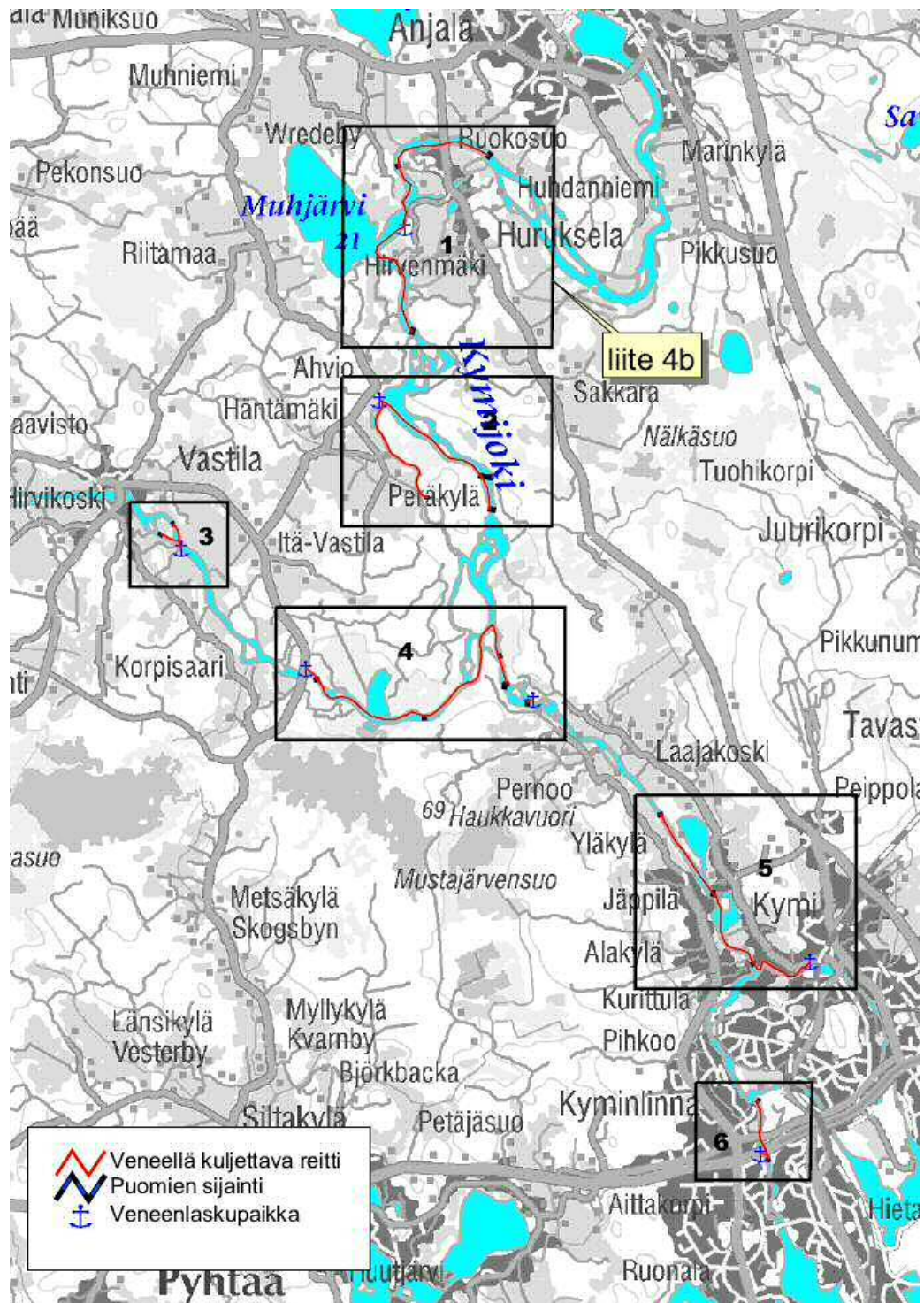
Mittauspisteitä on kaikissa sivuhaaroissa ja päähaarassa (Kuva 3-1). Pisteet on valittu siten, että mahdollisimman monia Kymijoen erilaisista olosuhteista saataisiin tutkittua. Kaksi mittauspistettä on vapaasti virtaavilla osuuksilla, ja neljä mittauspistettä on voimalaitoksesta alajuoksun puolella ja kaksi yläjuoksun puolella. Yhden mittauspisteen kohdalla on säännöstelypato. Yksi mittauspiste on kosken alajuoksun puolella, kahdessa pisteessä koski on mittauspisteessä ja yksi on kosken yläjuoksun puolella. Kaksi mittauspistettä on hyytöpuomin alajuoksun puolella ja kaksi mittauspistettä on kahden hyytöpuomin välissä. Kaksi mittauspistettä on sijoitettu paikoille, joissa hyytöpatojen räjäytykset ovat lähes jokavuotisia. Yhden mittauspisteen yläjuoksun puolella on voimalaitos- ja teollisuusjätevesien purkupaikka. Näiden pisteiden avulla saadaan muodostettua kattava kuva Kymijoen jääoloista ja eri olosuhteiden vaikutuksesta jääkanteen ja vedenlaatuun.

Kymijoen alajuoksulla tehtiin vedenlaatumittaukset loppusyksystä avoveden aikana (16.12.2011) ja talvella jääkannen peittäessä jokea (24.2.2012–12.3.2012). Näitä mittauspisteitä oli seitsemän (pisteet Kymi1-Kymi7). Samoista pisteistä otettiin myös jäänäytteet. Näiden lisäksi avoveden aikana (16.1.2012) tehtiin vedenlaatumittauksia

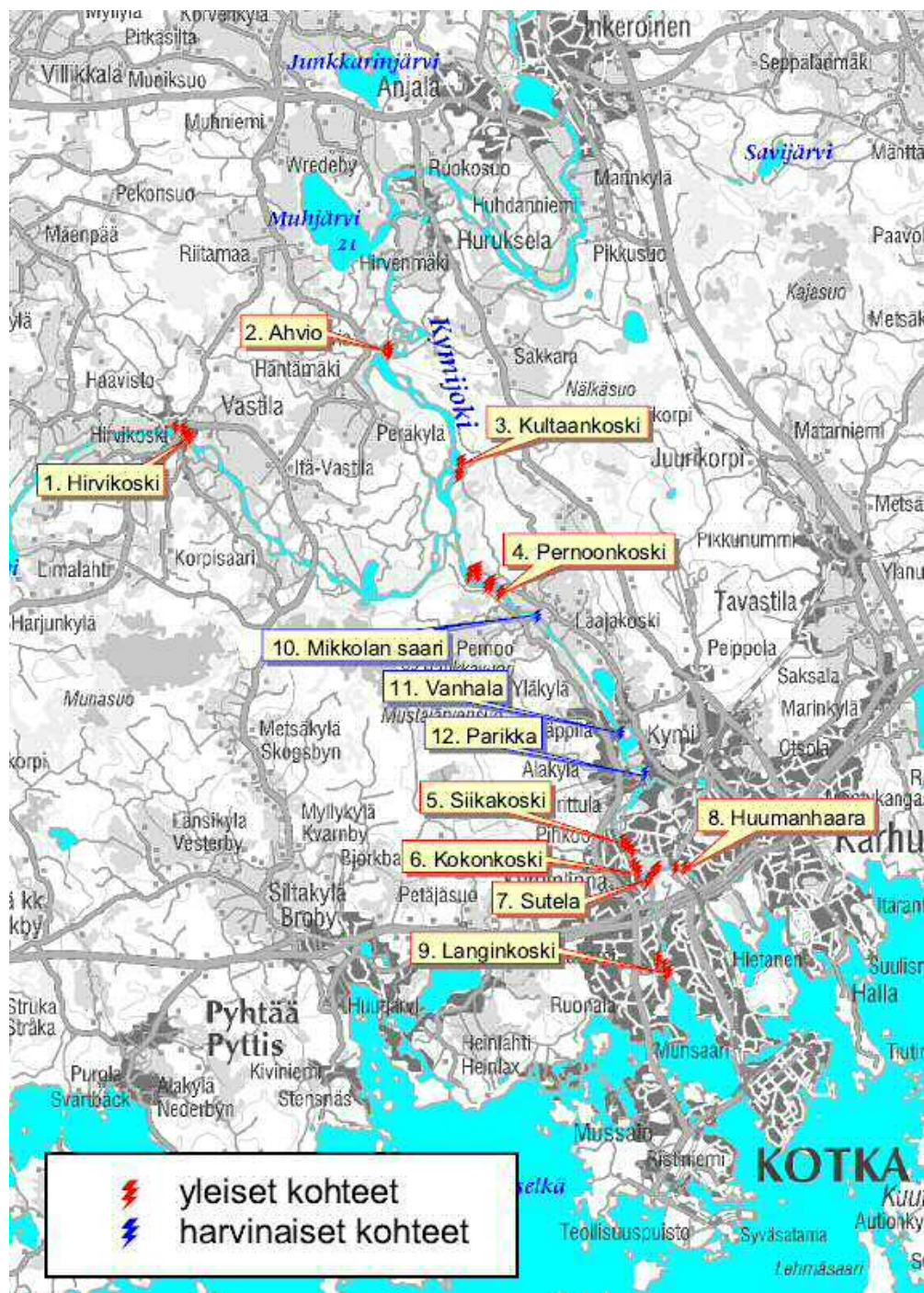
myös Kymijoen yläosissa Kuusankoskella, Vuolenkoskella, Heinolassa ja Kymijoen suulla Päijänteellä (pisteet Kymi8-Kymi11).



Kuva 3-1. Kymijoen mittauspisteet (Karttapohja: Maanmittauslaitos 2012)



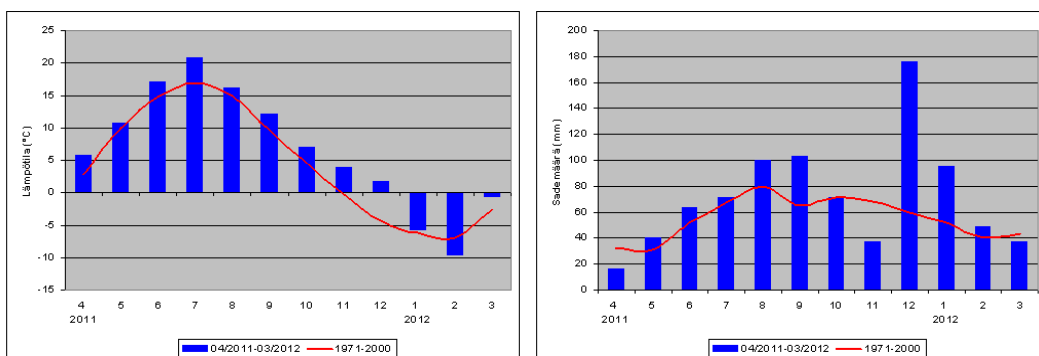
Kuva 3-2. Hyytöpuomien paikat Kymijoella (Väkevä 2004)



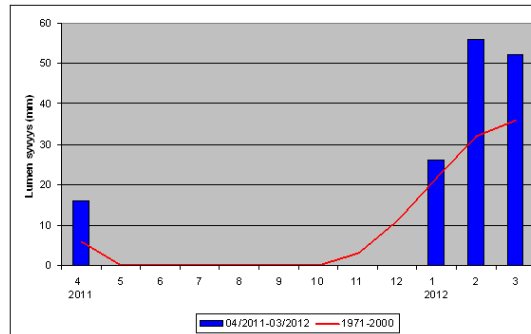
Kuva 3-3. Hyttöpatojen räjäytykset Kymijoella (Väkevä 2004)

3.2 Sää ja virtaama

Kesä ja syksy 2011 olivat tavanomaista lämpimämpiä Kymijoen alueella. Sää tiedot on mitattu Kouvolan Anjalassa, jossa kesän maksimilämpötila 31,3 °C mitattiin 10.6. Vielä joulukuussakin keskilämpötila oli +1,6 °C. Alkuvuonna 2012 lämpötilat tippuivat nopeasti mikä aiheutti Kymijoelle hyydeongelmia, sillä jokeen ei ollut muodostunut vielä eristävää jääkantta. Alkuvuoden 2012 minimilämpötila -28,2 °C mitattiin 5.2. Alkusyksystä elo- ja syyskuussa satoi tavanomaista enemmän (syyskuussa 103 mm), mutta marraskuussa satoi kohtalaisen vähän (37 mm) verrattuna pitkäaikaiseen keskiarvoon (68 mm). Joulukuussa taas satoi huomattavasti keskimääräistä enemmän. Pitkäaikaiskeskiarvon mukainen sademäärä joulukuussa on 60 mm, ja joulukuussa 2012 satoi 176 mm. Tammikuussakin satoi vielä 95 mm, kun keskiarvo on 52 mm (Kuva 3-4). Alkuvuonna 2012 lunta oli huomattavasti keskimääräistä enemmän, mikä vaikutti jään rakenteeseen (Kuva 3-5). (Ilmatieteen laitos 2011 ja 2012)

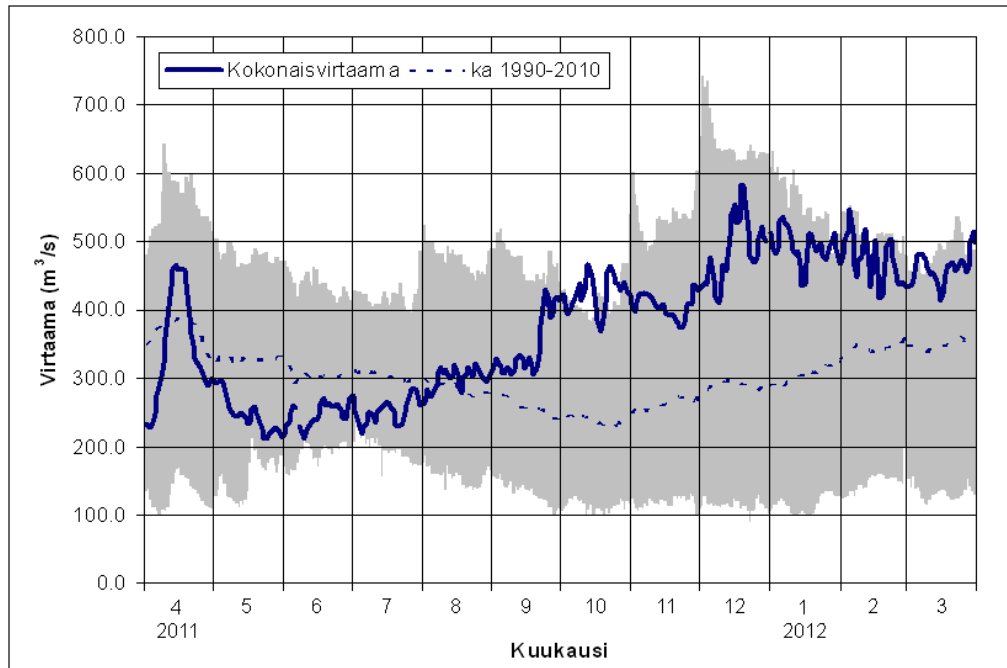


Kuva 3-4. Eri Kuukausien keskilämpötilat ja sademäärät 4/2011–3/2012 ja vastaavat pitkänajan keskiarvot (1971–2000) Kouvolan Anjalassa (Ilmatieteen laitos 2011 ja 2012)



Kuva 3-5. Eri kuukausien lumen syvyydet 4/2011–3/2012 ja vastaavat pitkänajan keskiarvot (1971–2000) Kouvolan Anjalassa (Ilmatieteen laitos 2011 ja 2012)

Kesällä 2011 Kymijoen kokonaisvirtaama oli alle pitkäaikaiskeskiarvon. Elokuussa virtaama kääntyi nousuun ja koko loppuvuoden 2011 ja alkuvuoden 2012 virtaama oli huomattavasti korkeampi kuin pitkäaikaiskeskiarvo (Kuva 3-6). Tarkastelujakson maksimivirtaama 582,2 m³/s mitattiin 19.12.2011 ja minimivirtaama 210,9 m³/s mitattiin 24.5.2011. Taulukossa 3-1 on esitetty virtaaman jakautuminen Kymijoen läntiseen ja itäiseen haaraan. Läntisen ja itäisen haaran virtaaman jakaumaa säännöstellään Hirvivuolteen (mittauspiste Kymi4) säännöstelypadon avulla. (OIVA – ympäristö- ja paikkatietopalvelu 2012)



Kuva 3-6. Kokonaisvirtaama Kymijoella 1.4.2011–31.3.2012, vastaava pitkänajan keskiarvo (1990–2010) (katkoviiva) ja vaihteluväli (harmaa alue) (1990–2010) (OIVA – ympäristö- ja paikkatietopalvelu 2012)

Taulukko 3-1. Kymijoen kokonaisvirtaaman kuukausikeskiarvot ja virtaaman jakautuminen läntiseen ja itäiseen haaraan. *MQ* = tarkastelujakson keskivirtaama, *NQ* = tarkastelujakson minimivirtaama, *HQ* = tarkastelujakson maksimivirtaama (OIVA – ympäristö- ja paikkatietopalvelu 2012). Virtaaman yksikkönä m³/s.

Kuukausi	Kokonaisvirtaama	Läntisen haaran virtaama	Itäisen haaran virtaama
04/2011	343,5	204,6	138,9
05	247,6	141,1	106,5
06	246,5	140,8	105,7
07	252,3	145,4	106,9
08	298,8	174,9	123,9
09	346,1	202,6	143,4
10	425,6	237,3	188,2
11	406,5	228,9	177,6
12	486,7	273,9	213,9
1/2012	492,8	241,1	251,7
2	472,9	219,3	253,5
3	461,0	231,6	229,4
MQ	373,3	203,5	169,8
NQ	210,9	122,4	80,5
HQ	582,2	335,8	329,7

4. Materiaalit ja metodit

Mittaukset tehtiin kenttämatkoina Helsingistä käsin. Kenttämатkoja tehtiin yhteensä neljä kappaletta. Sulanveden aikana tehtiin kaksi kenttämатkaa, joilla tutkittiin vedenlaatua. Ensimmäinen kenttämатka tehtiin 16.12.2011, jolloin tutkittiin mittauspisteet Kymi1-Kymi7, ja toinen tehtiin 16.1.2012, jolloin tutkittiin mittauspisteet Kymi8-Kymi11. Jääkannen peittäessä jokea tehtiin kaksi kenttämатkaa, joilla tutkittiin vedenlaatua sekä jääkannen muodostumista ja rakennetta. Ensimmäinen jääkauden kenttämатka tehtiin 24.2.2012, jolloin tutkittiin mittauspisteet Kymi1-Kymi3, ja toinen tehtiin 12.3.2012, jolloin tutkittiin mittauspisteet Kymi4-Kymi7.

4.1 Jääolosuhteet

4.1.1 Jääkannen muodostuminen

Jääkannen muodostumista mittauspisteissä tutkittiin havainnoimalla silmämääräisesti jääkannen peittävyyttä. Paikan päältä otettiin myös valokuvia, joista käy ilmi kyseisen paikan jääkannen peittävyys.

4.1.2 Jään rakenne

Jään rakennetta tutkittiin mittaamalla jään paksuus ja ottamalla jäänäyhteitä. Jäätä sahattiin palanen koko jään paksuudelta ja nostettiin pois avannosta. Avannosta mitattiin jäänpaksuus mittatikulla. Jäänäyhteet merkittiin ja kuvattiin paikan päällä. Sen jälkeen ne pakattiin muovipusseissa kylmälaukkuihin lumen kanssa (lumi oli mukana jäiden säilytyksen parantamiseksi kuljetuksessa). Jäänäyhteet tuotiin säilöön pakastimeen ja analysoitiin myöhemmin Helsingin yliopiston Fysiikan laitoksen jäälaboratoriossa Kumpulassa.

Laboratoriossa jäänäyhteistä otettiin ensin valokuvat kokonaisina mustaa taustaa vasten, jolloin nähdään näytteen kerroksellisuus. Sen jälkeen jäänäyhteestä sahattiin noin sentin paksuinen vertikaalinen ns. paksuhie. Tämä sulatettiin lasilevyyn kiinni ja

valokuvattiin mustaa taustaa vasten, jolloin ilmenee näytteen rakenteesta jään sisässä olevat ilmakuplat ja epäpuhtaudet. Tämän jälkeen jäänäyte hiottiin noin millimetrin paksuiseksi ohuthieeksi, joka asetettiin kahden ristiin asetetun polarisaatiolevyn väliin ja valokuvattiin. Ristiin asetettujen polarisaatiolevyjen välissä jäänäytteen kiderakenne tulee selvästi esille, jolloin voidaan tutkia tarkemmin jään rakennetta. Jääkiteen läpi kulkiessaan valonsäteessä tapahtuu kahtaistavuus-ilmiö, jossa ensisijainen ja toissijainen säde muodostavat interferenssivärin. Kukin kide erottuu kuvasta omalla interferenssivärillään.

Lopuksi jäänäytteistä sahattiin teräs-, kohva- ja suppojää noin 10 cm paloihin. Jäänäytteet sulatettiin ja sulavesi analysoitiin Helsingin yliopiston Lammin biologisen aseman laboratoriossa. Sulavedestä analysoitiin pH (Thermo Orion 3 Star –mittalaitteella), johtokyky (YSI 3200 –mittalaitteella) ja spektrofotometrillä optisen kaistan absorptiospektri (Shimadzu UV-1800 –mittalaitteella).

4.2 Vedenlaatu

4.2.1 Vesinäytteet

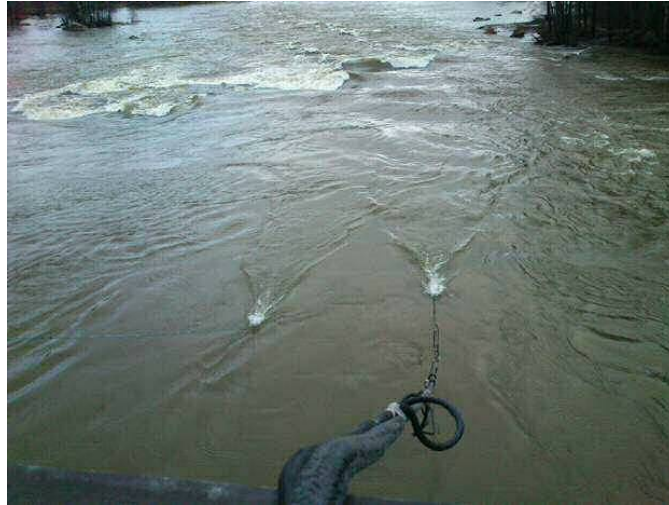
Mittauspisteissä otettiin vesinäytteet pintavedestä näytepulloihin. Näytepullot numeroitiin ja pakattiin kylmälaukkuihin kylmäkallejen tai lumen kanssa (lämpötila $\approx 4\text{ °C}$). Vesinäytteet tuotiin säilöön jääkaappiin ja analysoitiin myöhemmin Helsingin yliopiston Lammin biologisen aseman laboratoriossa. Vesinäytteistä analysoitiin pH (Thermo Orion 3 Star), johtokyky (YSI 3200), kiintoaineksen määrä ja spektrofotometrillä optisen kaistan absorptiospektri (Shimadzu UV-1800). Kiintoaines analysoitiin suodattamalla näytteet Whatmanin GF/C lasikuitusuodattimella (suodattimen läpäisykoko = $1,2\text{ }\mu\text{m}$). Suodatin punnittiin ennen suodattamista. Sen jälkeen se kuivatettiin uunissa (105 °C) ja punnittiin uudestaan kuivana.

4.2.2 Hydrografiset luotaukset

Veden fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet

Mittaukset tehtiin avoveden aikana silloilta käsin. Jääkauden aikana jääkannesta sahattiin jäänäyte irti ja samasta avannosta tehtiin luotaus pinnasta pohjaan. Mittaukset tehtiin CTD-90M (Sea & Sun Technology GmbH) ja MCTD-MBP-S (Falmouth Scientific, Inc.) mittalaitteilla. Mittausmatkalla 16.1.2012 mittalaitteen kehikko rikkoutui laitteesta CTD-90M ja mittalaite upposi joen pohjaan. Mittalaite saatiin takaisin vasta keväällä 2012, jonka vuoksi loput mittaukset tehtiin MCTD-MBP-S -mittalaitteella. Mittaukset tehtiin avoveden aikana silloilta käsin, ja jääkauden aikana mittaukset tehtiin samasta avannosta, josta otettiin jäänäyte. Mitattavat suureet olivat (CTD-90M) johtokyky, lämpötila, paine, pH, redox, liuennut happi, virtaus ja PAR (fotosynteesistä aktiivinen säteily). MCTD-MBP-S:llä mitattavat suureet olivat johtokyky, lämpötila ja paine.

Avoveden aikana tehtävät mittaukset tehtiin joulukuussa 2011 ja tammikuussa 2012, jolloin virtaus Kymijossa oli niin voimakasta, että mittalaite ei kunnolla uponnut veteen vaan jäi pinnalle (Kuva 4-1). Tästä syystä avoveden aikana tehdyistä CTD-90M mittauksista ei voitu käyttää kuin pintaveden lämpötilan tuloksia. Jääkauden aikana tehdyissä mittauksissa mittalaitteet upposivat pohjaan asti, ja tuloksista kävi ilmi, että koko vesirunko oli hyvin sekoittunutta eikä merkittäviä kerroksellisuuksia havaittu.



Kuva 4-1. Mittalaitteita vedessä Kymijoen Hirvikoskella (mittauspiste Kymi3) (Kuva: Tom Kokkonen, Helsingin yliopisto, 16.12.2011)

Veden optiset ominaisuudet

Veden optisia ominaisuuksia mitattiin tekemällä luotauksia AC-9 (Wet Labs Inc.) mittalaitteella, joka mittaa valon absorptiota ja vaimennusta vedessä. Mittauksista voitiin määrittää myös valon sirontaspektri ja edelleen saada tietoa vedessä olevista partikkeleista. Mitattujen arvojen avulla laskettiin sironta kaavalla

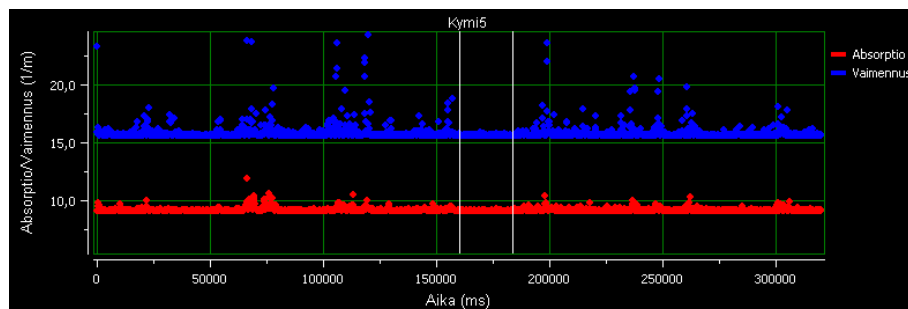
$$b(\lambda) = c(\lambda) - a(\lambda) \quad (4-1)$$

jossa $b(\lambda)$ on sironta, $c(\lambda)$ vaimennus, $a(\lambda)$ absorptio ja λ on aallonpituus.

Ennen mittauksia AC-9 -mittalaite kalibroitiin valmistajan ohjeiden mukaisesti hyvin pestyssä astiassa ionivaihdetulla vedellä. Kalibrointikorjaukset laskettiin WetView 5.0a -ohjelmalla, jossa yksittäiset kalibrointi-arvot laskettiin 20 mittausarvon keskiarvona. Ennen kalibrointia ja mittausmatkojen välissä mittalaitteen heijastusputket ja linssit puhdistettiin valmistajan ohjeiden mukaisesti alkoholilla.

Avoveden aikana tehdyissä mittauksissa AC-9 -mittalaite ei uponnut veteen kunnolla ja mittalaitteen aiheuttama veden kuohuminen häiritsi osaa mittauksista. Talven aikana taas suppojää aiheutti kohinaa tuloksiin. Suurimmassa osassa mittauksista aineistosta saatiin kuitenkin eroteltua osioita, joissa ei ollut liikaa häiriötä ja lopulliset

tulokset laskettiin häiriöttömien tulosten keskiarvona. Häiriötön kohta etsittiin siten, että 412 nanometrillä tehdyistä mittauksista muokattiin kuvaaja ajan suhteen ja kuvaajasta etsittiin kohta, jossa häiriöitä oli mahdollisimman vähän (Kuva 4-2). Tämä aallonpituusalue valittiin häiriöttömän alueen etsimiseen, sillä tällä aallonpituudella tehdyissä mittauksissa näytti olevan eniten häiriöitä.



Kuva 4-2. Mittauspisteen Kymi5 absorptio ja vaimennus ajan suhteen aallonpituudella 412 nm. Valkoisten pystyviivojen välisistä arvoista laskettiin keskiarvo lopullisia kuvaajia varten (mittaus tehty 16.12.2011).

5. Tulokset

5.1 Jään rakenne

5.1.1 Mittauspiste Kymi1

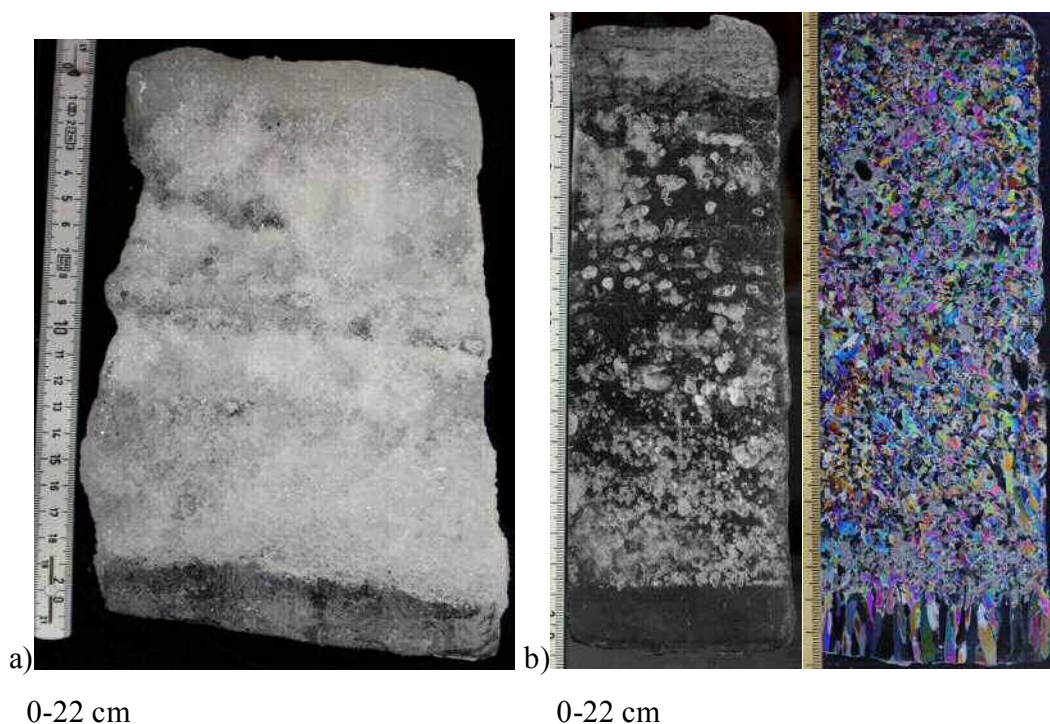
Mittauspisteellä Kymi1 oli vain vähän reunajäätä eikä kiinteää jääkantta. Jään kokonaispaksuus oli 21 cm. Jään päällä oli noin 5 cm osittain sulanutta lunta. Jäänäyte otettiin joen lännen puoleiselta reunalta. Mittauspiste on noin 100 metriä voimalaitoksen alajuoksun puolella.

Koko jääpalan kuvasta (Kuva 5-1 a) näemme, että jäänäytteessä oli kirkasta teräsjäätä vain 2 cm pohjalla. Muuten koko näyte oli läpikuultamatonta kohva- ja suppojäää, jossa oli paljon ilmakuplia.

Paksuhienäytteestä (Kuva 5-1 b) näkee, että ylimmässä 3 cm kerroksessa on erittäin paljon pieniä (< 1mm) ilmakuplia. Kerroksessa 3-10 cm on vähemmän ilmakuplia. Ne ovat muodoltaan pyöreitä ja halkaisijaltaan paljon suurempia kuin ylemmässä

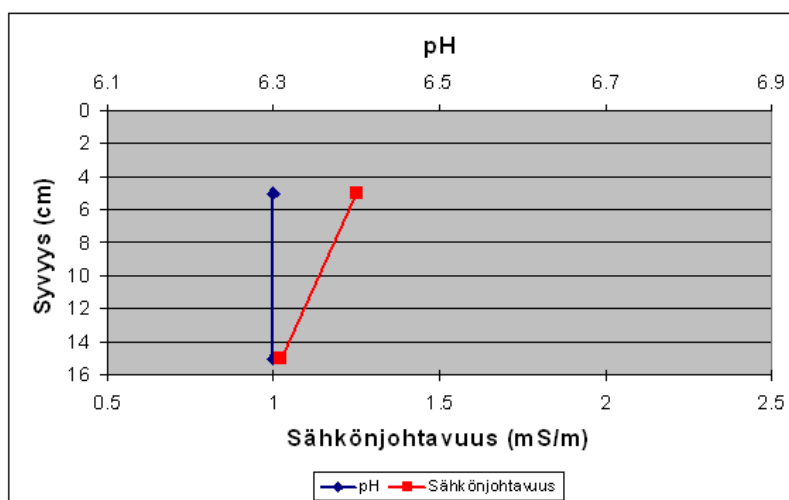
kerroksessa (noin 2-5 mm). Nämä kaksi ylintä kerrosta ovat todennäköisesti syntyneet lumesta ja lumisohjosta. Seuraavassa kerroksessa (10-19 cm) on paljon pyöreitä halkaisijaltaan noin 1 mm kokoisia ilmakuplia, joiden määrä kasvaa alaspäin. Tämä viittaisi siihen, että kerros on kasvanut ylhäältä alaspäin ja jää on kasvaessaan työntänyt ilmakuplia alaspäin. Tämä kerros on todennäköisesti syntynyt joen reunoihin tarttuneista suppojääautoista, jotka ovat jäätyneet. Alimmassa 2 cm teräsjääkerroksessa ei ole ollenkaan ilmakuplia.

Ohuthienäytteestä (Kuva 5-1 b) näkee, että läpikuultamattomassa kerroksessa on sekaisin hyvin pieniä kiteitä (< 1 mm), jotka ovat syntyneet suppojäästä ja suurempia pyöreitä halkaisijaltaan 1-3 mm ja neulasmaisia kiteitä, jotka ovat syntyneet lumesta ja lumisohjosta. Pyöreät kiteet ovat halkaisijaltaan 1-3 mm ja neulasmaiset kiteet ovat 5 mm pitkiä ja 1 mm leveitä. Kiteiden geometrinen suuntautuneisuus on epäsäännöllistä. Teräsjääkerroksessa kiteet ovat kasvaneet ylhäältä alaspäin ja kiteet ovat koko kerroksen pituisia. Kiteiden halkaisija on noin 5 mm.



Kuva 5-1. Mittauspisteen Kymi1 jäänäytteet a) koko pala b) paksuhie normaalivalossa (vasemmalla) ja ohuthie polarisoidussa valossa (oikealla) (Tom Kokkonen, Helsingin yliopisto)

Jäästä sulatetun veden pH oli koko palassa 6,3, mutta sähkönjohtavuus oli teräsjäässä (1,022 mS/m) pienempi kuin kohvajäässä (1,252 mS/m) (Kuva 5-2). Jäänäytteen kanssa samasta avannosta otetun vesinäytteen pH oli 7,0 ja sähkönjohtavuus 6,02 mS/m.



Kuva 5-2. Mittauspisteen Kymi1 jäänäytteen pH ja sähkönjohtavuus

5.1.2 Mittauspiste Kymi2

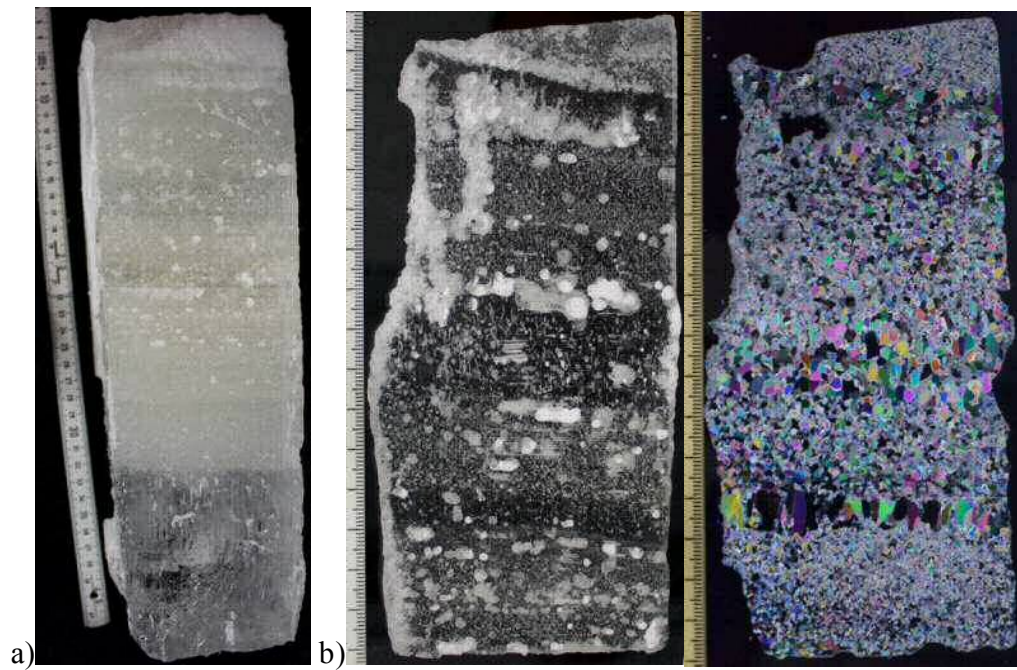
Mittauspisteellä Kymi2 oli kiinteä jääkansi mittaushetkellä. Jään kokonaispaksuus oli 32 cm ja jään päällä oli noin 15 cm lunta. Keskellä jokea lumi oli osittain sulanut. Jäänäyte otettiin melko keskeltä jokea hieman lännen puoleiselta reunalta.

Koko palan kuvasta (Kuva 5-3 a) näemme, että pinnasta noin 20 cm on läpikuultamatonta kohva- ja suppojäättä, jossa on paljon ilmakuplia ja näytteen pohjalla on noin 12 cm kirkasta teräsjäättä. Läpikuultamattomasta osasta erottuu useita eri kerroksia. Keskellä palaa näkyy hieman ruskeampi kerros, jossa on todennäköisesti jähän sitoutunutta pohjasedimenttiä.

Paksuhienäytteestä (Kuva 5-3 b) näemme, että ylimmässä noin 2 cm kerroksessa, joka on hieman vinossa, on vain hyvin pieniä (< 1 mm) ilmakuplia. Tämä kerros on todennäköisesti muodostunut pelkästä lumesta. Loppuosassa tätä palasta (2-16 cm pinnasta) on paljon pieniä (< 1 mm) ilmakuplia ja isompia halkaisijaltaan 3-5 mm

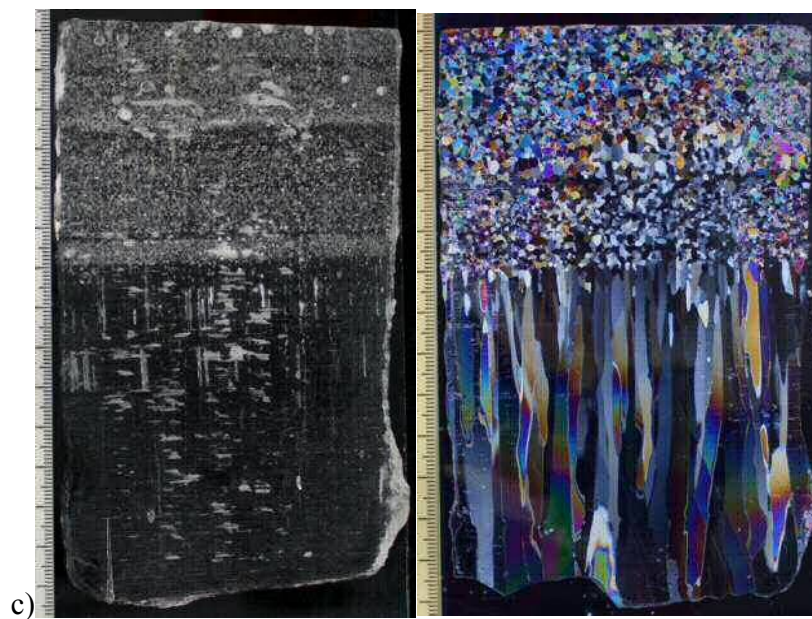
pyöreitä ilmakuplia. Isompia ilmakuplia on paljon alueella 2-4 cm pinnasta, mutta muuten ne ovat kohtuullisen tasaisesti jakautuneet. Pienempien ilmakuplien osalta erottuu selvästi useita eri kerroksia, joissa ilmakuplia on enemmän. Kohdassa 7-9 cm pinnasta pieniä ilmakuplia on vähemmän, ja ne ovat pitkulaisia ja vertikaalisesti suuntautuneita. Ilmakuplien pituus on noin 3 mm ja leveys < 1 mm. Seuraavasta palasta (Kuva 5-3 c), joka on 16-31 cm pinnasta, näkee että suuremmat ilmakuplat loppuvat ja loppuosassa läpikuultamatonta jäätä on vain hyvin pieniä (< 1mm) ilmakuplia. Kuvasta erottuu kaksi kerrosta, joissa ilmakuplien konsentraatio kasvaa alaspäin mentäessä. Nämä kerrokset ovat luultavasti jäätyneet ylhäältä alaspäin ja ilmakuplat ovat työntyneet alaspäin jäätyksen edetessä. Toinen näistä kerroksista on todennäköisesti ollut ensijää, joka on muodostunut suppojäästä. Kirkkaassa teräsjään kerroksessa on ylhäältä alas asti horisontaalisesti suuntautuneita pitkulaisia ilmakuplia, joiden pituus on 3-5 mm ja leveys alle 1mm. Teräsjään yläreunassa on 3 cm kerros, jossa on vertikaalisesti suuntautuneita pitkulaisia ilmakuplia, joiden pituus on noin 10 mm ja leveys 1 mm.

Ohuthienäytteestä (Kuva 5-3 b) näkee, että ylimmässä 2 cm kerroksessa kiteet ovat hyvin pieniä (< 1 mm – 1 mm). Tämä viittaisi myös siihen, että ylin kerros on muodostunut pelkästä lumesta. Loppuosassa (2-16 cm) on sekaisin pieniä kiteitä ja hieman isompia pyöreitä kiteitä, jotka ovat halkaisijaltaan 2-5 mm. Kohdassa 12-13 cm pinnasta näkyy kerros, jossa on suurempia pitkulaisia kiteitä. Kiteiden pituus on koko kerroksen pituinen, ja niiden leveys on noin 3-5 mm. Tämä kerros on todennäköisesti muodostunut jään päälle tulvineesta vedestä. Seuraavan palan (Kuva 5-3 c) ylimmässä 6 cm (16-22 cm pinnasta) on tasaisesti jakautuneena pyöreitä kiteitä, joiden halkaisija on 1-5 mm. Alimmat 8 cm jäänäytteestä on teräsjäätä, jossa kiteet ovat pylväsmäisiä, koko kerroksen pituisia ja 3-10 mm leveitä.



0-32 cm

0-16 cm

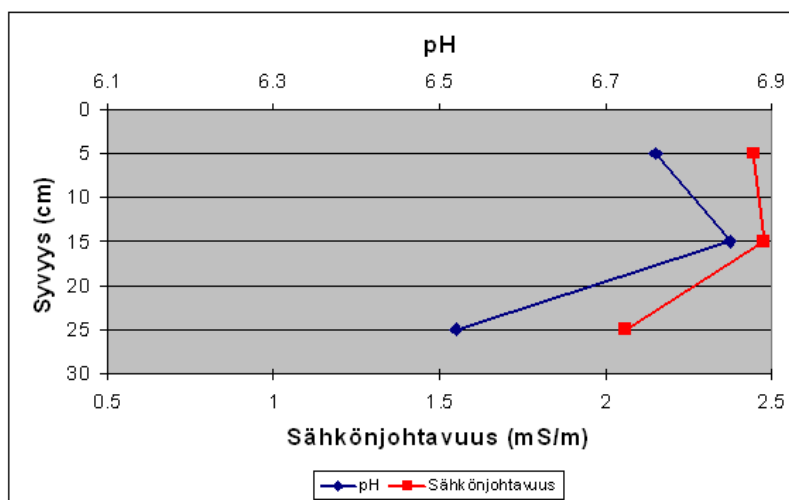


c)

16-30 cm

Kuva 5-3. Mittauspisteen Kymi2 jäänäytteet a) koko pala b) ja c) paksuhie normaalivalossa (vasemmalla) ja ohuthie polarisoidussa valossa (oikealla) (Tom Kokkonen, Helsingin yliopisto)

Keskeltä palaa sulatetussa näytteessä pH ja sähkönjohtavuus olivat korkeimmillaan, joka viittaisi myös siihen, että 12-13 cm kerros on syntynyt veden tulviessa jään päälle (kuva 5-4). Teräsjäessä oli pienimmät pH- ja sähkönjohtavuusarvot. Tässä jäänäytteessä oli suurimmat pH- ja sähkönjohtavuusarvot kaikista jäänäytteistä. Jäänäytteen kanssa samasta avannosta otetun vesinäytteen pH oli 7,1 ja sähkönjohtavuus 6,07 mS/m.



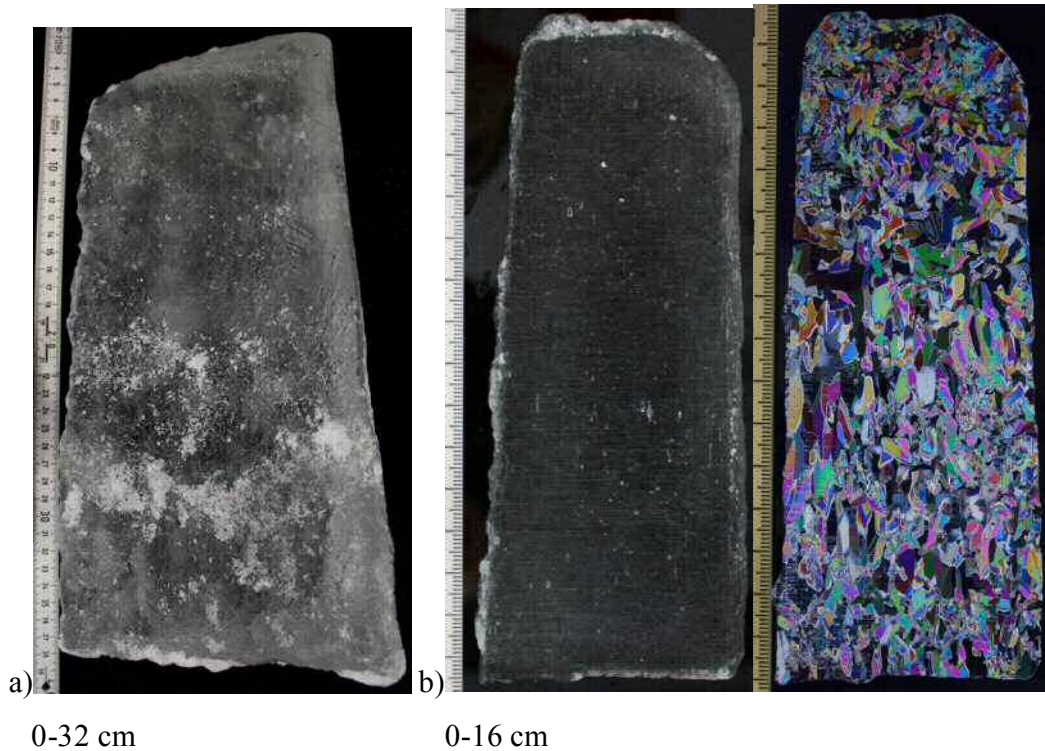
Kuva 5-4. Mittauspisteen Kymi2 jäänäytteen pH ja sähkönjohtavuus

5.1.3 Mittauspiste Kymi3

Mittauspisteellä Kymi3 oli vain reunajäätä ja vakaampi jääkansi joen mutkassa. Jään kokonaispaksuus oli 32 cm. Jään päällä oli lunta noin 30 cm. Jäänäyte otettiin joen mutkasta joen pohjoisreunalta. Koko palan kuvasta (Kuva 5-5 a) näemme, että koko jäänäyte on hyvin kirkasta jäätä. Ilmakuplia on vain ylimmässä 10 cm kerroksessa. Ilmakuplat ovat pyöreitä, ja niiden halkaisija on noin 5 mm.

Paksuhienäytteistä (Kuva 5-5 b ja c) näemme, että jää on hyvin kirkasta ja siinä on vain muutamia ilmakuplia, joiden halkaisija on alle 1-2 mm. Jäässä on vain muutamia sedimenttihiukkasia. Tämä viittaisi siihen, että jää on syntynyt hitaasti kohtuullisen vakaisissa olosuhteissa.

Ohuthienäytteistä (Kuva 5-5 b ja c) näemme, että koko jäänäyte koostuu pitkulaisista kiteistä, jotka näytteen yläosissa (0-20 cm) ovat 1-5 mm leveitä ja 5-20 mm pitkiä. Kiteiden geometrinen suuntautuneisuus on hyvin satunnaista, joka johtuu luultavasti joessa olevasta turbulenttisesta virtauksesta. Näytteen alaosissa (20-32 cm) kiteet ovat hieman suurempia ja geometrinen suuntautuneisuus on enemmän vertikaalista. Kiteiden leveys on 3-10 mm ja pituus 5-30 mm.

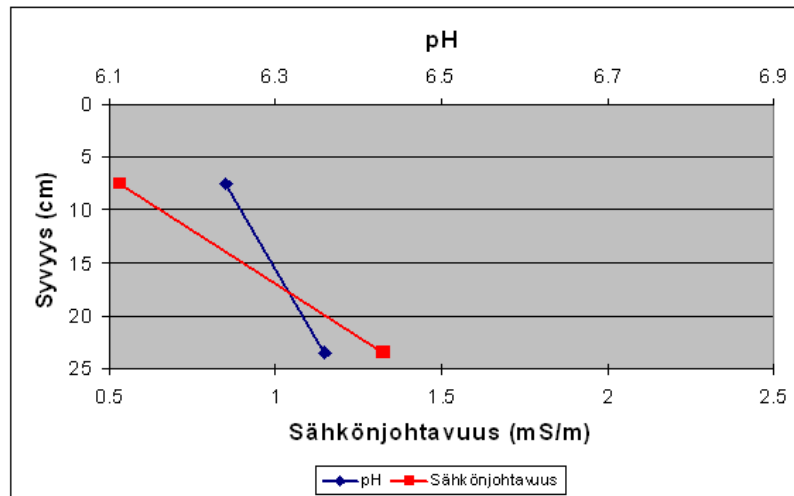




16-32 cm

Kuva 5-5. Mittauspisteen Kymi3 jäänäytteet a) koko pala b) ja c) paksuhie normaalivalossa (vasemmalla) ja ohutlie polarisoidussa valossa (oikealla) (Tom Kokkonen, Helsingin yliopisto)

Vaikka jäänäyte oli hyvin samankaltainen rakenteeltaan, kemiallisesti jäänäytteessä on silti selkeä ero näytteen pinnan ja pohjan välillä (Kuva 5-6). Pinnalla pH ja sähkönjohtavuus olivat selkeästi pienempiä kuin pohjalla. Todennäköisesti jää on jäätyessään työntänyt epäpuhtauksia alaspäin, josta syystä pohjalla on enemmän epäpuhtauksia ja pH ja sähkönjohtavuus ovat korkeampia. Jäänäytteen kanssa samasta avannosta otetun vesinäytteen pH oli 6,9 ja sähkönjohtavuus 6,04 mS/m.



Kuva 5-6. Mittauspisteen Kymi3 jäänäytteen pH ja sähkönjohtavuus

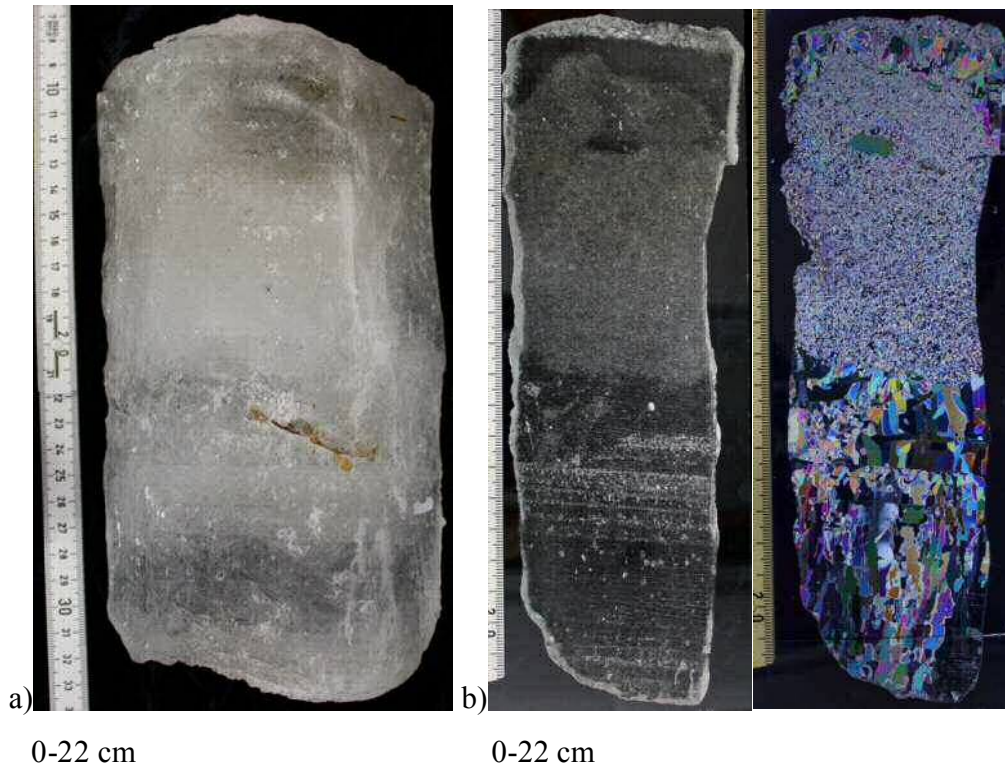
5.1.4 Mittauspiste Kymi4

Mittauspisteellä Kymi4 oli vain reunajäätä. Jään kokonaispaksuus oli 22 cm, ja jään päällä oli noin 10 cm lunta. Jäänäyte otettiin joen eteläreunalta. Näytteenottopiste oli noin 20 metriä alajuoksulle säännöstelypadolta. Koko palan kuvasta (Kuva 5-7 a) näemme, että ylimmät 11 cm jäästä on läpikuultamatonta jäätä, jossa on paljon ilmakuplia. Alin 11 cm on kirkkaampaa teräsjäätä. Kohdassa 14-16 cm pinnasta näkyy läpikuultamaton kerros, jossa on ilmakuplia. Jäänäytteessä oli kaksi lehteä syvyyksissä 2 cm ja 13 cm pinnasta. Jäässä näkyy pieniä epäpuhtauksia 1-7 cm pinnasta.

Paksuhienäytteestä (Kuva 5-7 b) näemme, että ylimmässä noin 0,5 cm kerroksessa on paljon pieniä (< 1 mm) ilmakuplia. Tämän kerroksen alla on kerros kirkasta jäätä, jonka paksuus vaihtelee 0,5 ja 2 cm välillä. Tässä kerroksessa näkyy muutamia sedimenttihiukkasia. Seuraavassa noin 10 cm kerroksessa on paljon hyvin pieniä (< 1 mm) ilmakuplia tasaisesti jakautuneena. Noin 4 cm syvyydessä on kirkas kohta, jonka pituus on noin 10 mm ja leveys 5 mm. Syvyydessä 2-7 cm pinnasta, jäässä näkyy pieniä epäpuhtauksia, jotka ovat todennäköisesti pohjasedimenttejä. Tämä kerros on todennäköisesti ollut ensijää, joka on muodostunut suppojäästä. Siihen on tarttunut pohjasta sedimenttejä ennen kuin suppojääkasauma on kasvanut niin

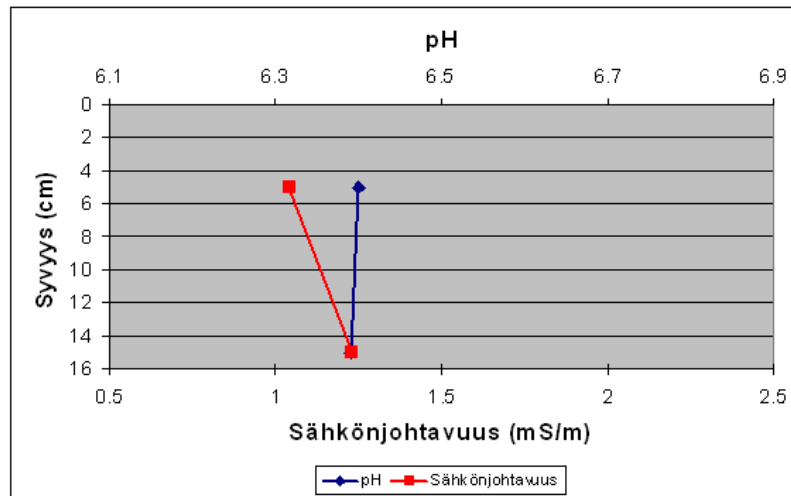
suureksi, että noste on nostanut sen pintaan. Alimmat noin 11 cm on kohtuullisen kirkasta jäätä. Kohdassa 14-16 cm pinnasta on pyöreitä ilmakuplia, joiden halkaisija on alle 1-1mm.

Ohuthienäytteestä (Kuva 5-7 b) näemme, että ylin noin 0,5 cm kerros on hyvin pientä (< 1 mm) kidettä. Tämän kerroksen alla on kerros, jossa kiteet ovat huomattavasti suurempia. Kerroksen paksuus vaihtelee 0,5 ja 2 cm välillä. Kiteiden geometrinen suuntautuneisuus on pääosin vertikaalista. Niiden pituus on 5-10 mm ja leveys 1-5 mm. Tämä kerros on todennäköisesti muodostunut jään päälle tulvineesta vedestä. Seuraavassa noin 10 cm kerroksessa on hyvin pieniä (< 1 mm) pyöreitä kiteitä. Tämä jää on todennäköisesti muodostunut suppojäädästä. Noin 4 cm syvyydessä on suurempi kide, jonka pituus on noin 10 mm ja leveys 5 mm. Alin noin 11 cm kerros on teräsjäätä, jossa kiteiden geometrinen suuntautuneisuus on vertikaalista. Kiteiden pituus on 10-40 mm ja leveys 1-10 mm. Syvyydellä 11-14 cm seassa on myös pyöreitä kiteitä, joiden halkaisija on 1-2 mm. Syvyyksillä 14 cm ja 15 cm erottuu selvästi siirtymä, jossa kiteet katkeavat. Paksuhienäytteessä erottuu tässä kohtaa pieniä ilmakuplia.



Kuva 5-7. Mittauspisteen Kymi4 jäänäytteet a) koko pala b) paksuhie normaalivalossa (vasemmalla) ja ohuthie polarisoidussa valossa (oikealla) (Tom Kokkonen, Helsingin yliopisto)

pH oli suunnilleen samoissa arvoissa koko näytteessä, kun taas sähkönjohtavuuden arvo oli suurempi teräsjäässä kuin kohva- ja suppojäässä (Kuva 5-8). Jäänäytteen kanssa samasta avannosta otetun vesinäytteen pH oli 9,2 ja sähkönjohtavuus 5,81 mS/m.



Kuva 5-8. Mittauspisteen Kymi4 jäänäytteen pH ja sähkönjohtavuus

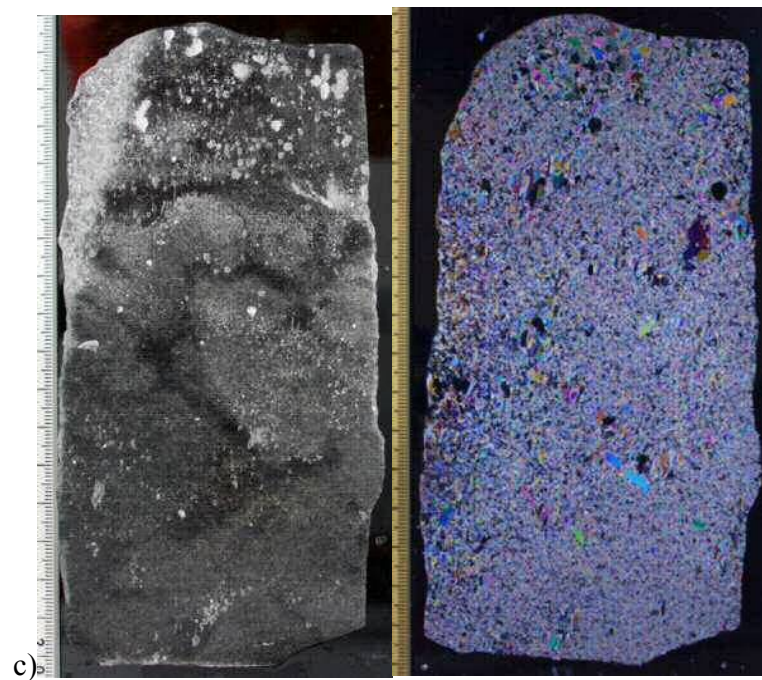
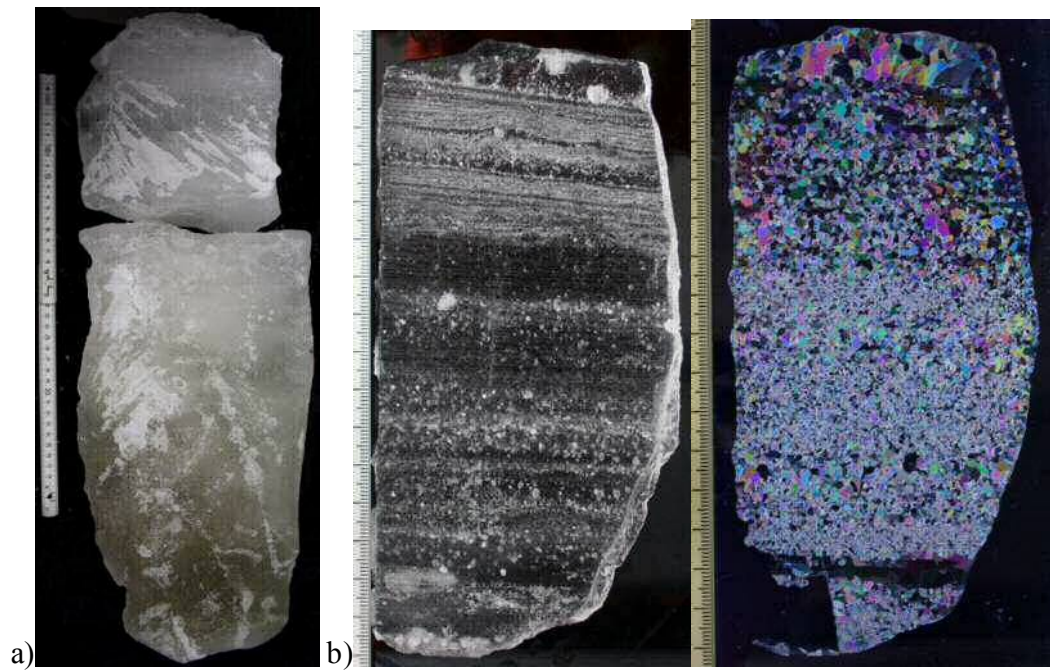
5.1.5 Mittauspiste Kymi5

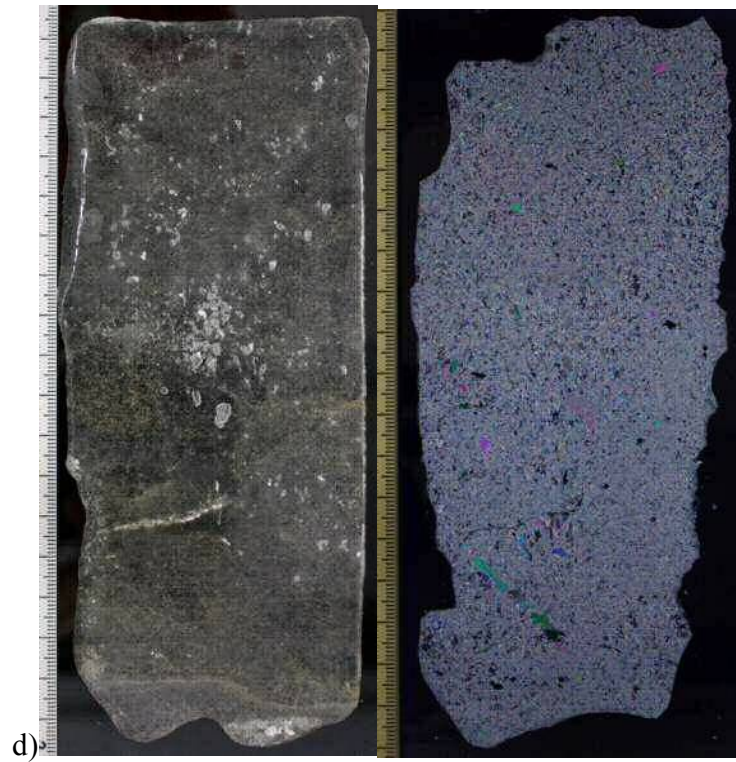
Mittauspisteellä Kymi5 oli lähes koko joen leveydeltä kiinteä jääkansi. Vain joen keskiosa oli sulana. Jään kokonaispaksuus oli 55 cm ja jään päällä oli noin 23 cm lunta. Yläjuoksulle oli asennettu jääpuomi syksyllä 2011, mutta se oli rikkoutunut poikkeuksellisen suuren virtaaman takia. Rikkoutunut jääpuomi ja jäälautat muodostivat jääpadon jokeen noin 20 metriä yläjuoksulle ja 20 länteen mittauspaikasta. Koko palan kuvasta (Kuva 5-9 a) näkee, että koko jäänäyte on läpikuultamatonta jäätä, jossa on paljon ilmakuplia. Jääpala rikkoutui kolmeen osaan (0-4 cm, 4-20 cm ja 20-55 cm). Jäänäytteen alaosassa syvyyksillä 40-55 cm näkyy paljon epäpuhtauksia. Ylin 4 cm kerros rikkoutui käsittelyssä, joten sitä ei pystytty analysoimaan tarkemmin.

Paksuhienäytteestä (Kuva 5-9 b) näemme, että kerroksessa 5-10 cm on paljon pieniä (< 1 mm) ilmakuplia vaakasuorissa riveissä kerroksittain. Tämä kerros on todennäköisesti muodostunut kerroksittain jäätyneestä lumesta. Seuraavassa 10 cm kerroksessa on muutamia kirkkaampia kerroksia, joissa on vain vähän pieniä (< 1 mm) ilmakuplia ja läpikuultamattomia kerroksia, joissa on paljon pyöreitä ilmakuplia halkaisijaltaan 1 mm. Joku näistä kerroksista syvyydellä 10-20 cm on todennäköisesti ollut ensijääkerros. Jäätyessään ensijään kerros on työntänyt ilmakuplia alaspäin ja on

muodostunut kerros, jossa ilmakuplia on enemmän. Seuraavassa palassa (20-37 cm) (Kuva 5-9 c) ylimmässä 4 cm kerroksessa on pieniä ilmakuplia (< 1 mm) ja muutamia suurempia pyöreitä ilmakuplia, joiden halkaisija on 1-5 mm. Loppuosassa (24-37 cm) on paljon pieniä (< 1 mm) ilmakuplia. Ilmakuplat ovat kerääntyneet kasoiksi, joiden välissä on kirkkaampia osioita, joissa ei ole niin paljon ilmakuplia. Tämä viittaisi siihen, että kyseinen jää on muodostunut suppojääkasaumista, jotka ovat tarttuneet jääkannen alle ja jäätyneet kiinteäksi jääksi. Kerroksessa 30-37 cm näkyy myös pieniä epäpuhtauksia, jotka ovat todennäköisesti pohjasta suppojäähän tarttunutta pohjasedimenttiä. Loppuosassa (37-55 cm) (Kuva 5-9 d) on paljon pieniä (< 1 mm) ilmakuplia kohtuullisen tasaisesti jakautuneena. Syvyydellä 43-47 cm on kasauma pyöreitä ja munanmuotoisia ilmakuplia, joiden halkaisija on noin 1-5 mm. Syvyydellä 43-55 cm näkyy paljon pieniä epäpuhtauksia, jotka ovat todennäköisesti pohjasta suppojäähän tarttunutta pohjasedimenttiä. Kuvasta 5-10 epäpuhtaudet erottuvat hyvin, sillä paksuhienäyte syvyydeltä 37-55 cm on siinä asetettu valkoista taustaa vasten.

Ohuthienäytteestä (Kuva 5-9 b) näemme, että ylimmässä 4-5 cm syvyydellä olevassa kerroksessa on pitkulaisia kiteitä, joiden geometrinen suuntautuneisuus on vertikaalista. Kiteiden pituus on 2-10 mm ja leveys 1-5 mm. Tämä kerros on muodostunut todennäköisesti vesisateesta kastuneesta tai lämpimien ilmojen takia osittain sulaneesta lumesta, joka on jäänyt. Kerroksessa 5-10 cm on pyöreitä kiteitä, joiden halkaisija on 1-3 mm. Loppuosassa 10-20 cm on pienempiä kiteitä, joiden halkaisija on alle 1 mm. 12 cm ja 16 cm syvyydellä on kerrokset, joissa on suurempia pyöreitä kiteitä, joiden halkaisija on 1-2 mm. Koko loppuosa jäänäytteestä (20-55 cm) koostuu hyvin pienistä kiteistä, joiden halkaisija on alle 1 mm. Välissä on myös muutamia suurempia pitkulaisia kiteitä tasaisesti jakautuneena, joiden pituus on 2-10 mm ja leveys 1-3 mm. Kerrokset 20-55 cm ovat todennäköisesti syntyneet suppojäästä, joka on tarttunut jääkannen alle ja jäänyt.





37-55 cm

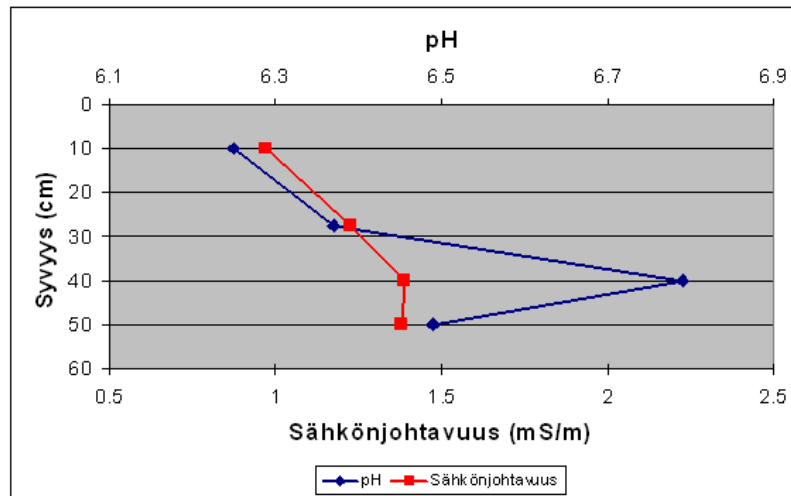
Kuva 5-9. Mittauspisteen Kymi5 jäänäytteet a) koko pala b), c) ja d) paksuhie normaalivalossa (vasemmalla) ja ohuthie polarisoidussa valossa (oikealla) (Tom Kokkonen, Helsingin yliopisto)



37-55 cm

Kuva 5-10. Mittauspisteen Kymi5 paksuhienäyte normaalivalossa valkoista taustaa vasten (Tom Kokkonen, Helsingin yliopisto)

Jäänäytteen yläosassa oli selkeästi pienimmät pH- ja sähkönjohtavuusarvot (Kuva 5-11). pH oli huomattavasti korkeammalla 40 cm syvyydeltä otetusta näytteestä verrattuna muuhun näytteeseen. Näillä syvyyksillä näkyi koko palan kuvassa 5-9 a selkeästi epäpuhtauksia, jotka ovat todennäköisesti jäähän sitoutunutta pohjasedimenttiä. Myös sähkönjohtavuus oli selkeästi korkeampi syvyyksillä 40–50 cm. Jäänäytteen kanssa samasta avannosta otetun vesinäytteen pH oli 8,7 ja sähkönjohtavuus 6,01 mS/m.



Kuva 5-11. Mittauspisteen Kymi5 jäänäytteen pH ja sähkönjohtavuus

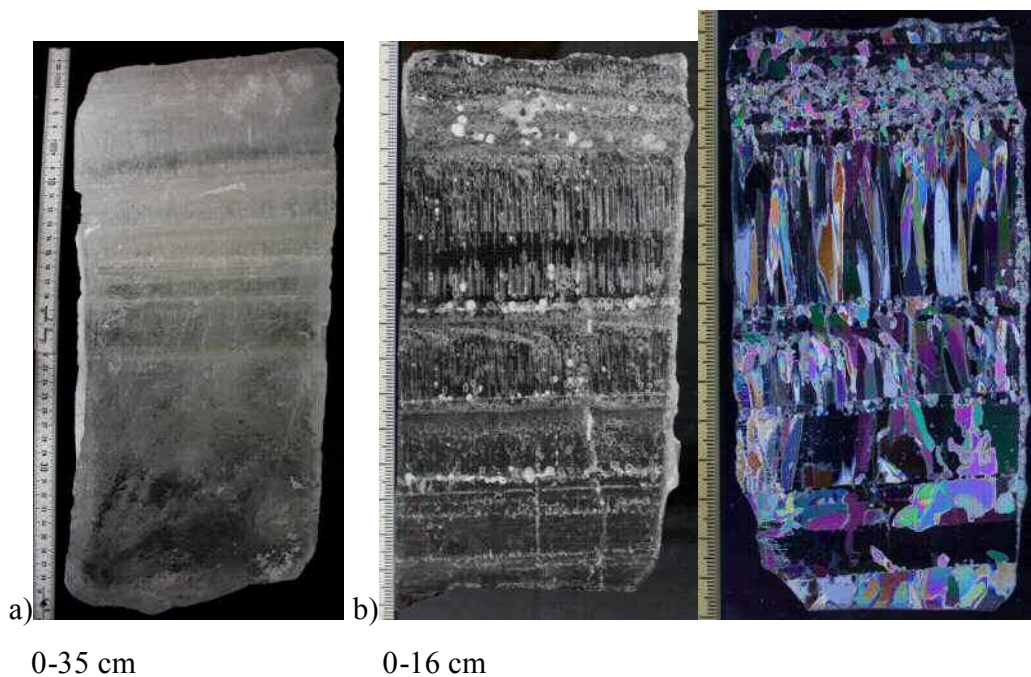
5.1.6 Mittauspiste Kymi6

Mittauspisteellä Kymi6 oli kiinteä jääkansi. Jään kokonaispaksuus oli 35 cm ja jään päällä oli 15 cm lunta. Joen keskikohdassa oli vettä jään päällä todennäköisesti sulaneen lumen takia.

Koko palan kuvasta (Kuva 5-12 a) näemme, että ylimmät 15 cm on läpikuultamatonta jäätä, jossa on paljon ilmakuplia. Loput 20 cm on kohtuullisen kirkasta teräsjäätä. Syvyydellä 20-27 cm jäässä näkyy epäpuhtauksia.

Paksuhienäytteen kuvasta (Kuva 5-12 b) näemme, että ylimmässä 3 cm kerroksessa on paljon pieniä (< 1 mm) ilmakuplia ja muutamia pyöreitä ilmakuplia, joiden halkaisija on 1-3 mm. Kerroksessa 3-10 cm on paljon vertikaalisesti suuntautuneita ilmakuplia, jotka ovat 1 mm leveitä ja 3-20 mm pitkiä. Tämä viittaisi siihen, että nämä kerrokset ovat jäätyneet hyvin nopeasti ja jää ei ole ehtinyt työntää ilmakuplia alaspäin jäätyessään. Syvyyksillä 7 ja 12 cm on rivissä pyöreitä ilmakuplia, joiden halkaisija on noin 2 mm. Syvyyksillä 7 ja 10 cm on myös paljon pieniä (< 1 mm) ilmakuplia. Seuraava pala (16-35 cm) (Kuva 5-12 c) on hyvin kirkasta jäätä, jossa ei ole paljoa ilmakuplia. Syvyydellä 18-19 cm on kerros pieniä (< 1 mm) ilmakuplia. Syvyydellä 19-24 cm on tasaisesti jakautuneena muutamia pieniä (< 1mm) ilmakuplia. Syvyydellä 18-24 cm näkyy myös epäpuhtauksia.

Ohuthienäytteestä (Kuva 5-12 b) näemme, että ylimmässä 0,5 cm kerroksessa on pyöreitä kiteitä, joiden halkaisija on noin 3 mm. Seuraavassa 0,5 cm kerroksessa on suuri kide, joka on lähes koko kerroksen kokoinen ja jonka välissä on pienempiä pyöreitä kiteitä, joiden halkaisija on noin 3 mm. Nämä kerrokset ovat todennäköisesti syntyneet veden tulviessa jään päälle tai sulaneesta lumesta, joka on jäätynyt. Seuraavassa kerroksessa (1-2,5 cm) on pieniä pyöreitä kiteitä joiden halkaisija on 1-3 mm. Loput tästä näytepalasta (2,5-16 cm) on teräsjäätä, jonka välissä on muutama ohut suppojääkerros syvyyksillä 7 cm ja 10 cm. Syvyyksillä 12, 13 ja 14 cm näkyy siirtymäkerros, jossa teräsjään kiteet katkeavat. Teräsjään kiteet ovat pilarimaisia, niiden geometrinen suuntautuneisuus on vertikaalista ja ne ovat koko kerroksen pituisia. Niiden leveys on 3-10 mm. Seuraava näytepala (16-35 cm) (Kuva 5-12 c) on kokonaan teräsjäätä, jossa kiteet ovat pitkulaisia ja geometrinen suuntautuneisuus on epäsäännöllistä. Kiteiden pituus on 2-30 mm ja leveys 1-5 mm.

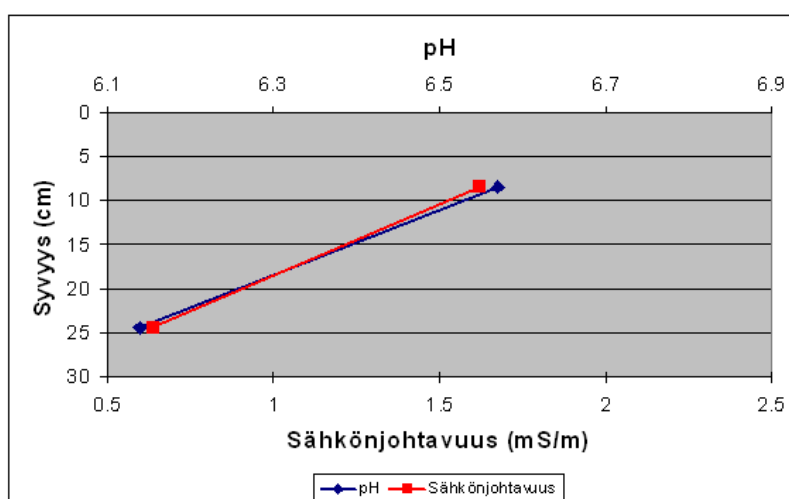




16-35 cm

Kuva 5-12. Mittauspisteen Kymi6 jäänäytteet a) koko pala b) ja c) paksuhie normaalivalossa (vasemmalla) ja ohuthie polarisoidussa valossa (oikealla) (Tom Kokkonen, Helsingin yliopisto)

pH ja sähkönjohtavuus olivat molemmat huomattavasti korkeampia näytteen yläosassa kuin alaosassa, vaikka alaosassa oli selvästi havaittavissa epäpuhtauksia (kuva 5-13). Jäänäytteen kanssa samasta avannosta otetun vesinäytteen pH oli 9,4 ja sähkönjohtavuus 5,48 mS/m.



Kuva 5-13. Mittauspisteen Kymi6 jäänäytteen pH ja sähkönjohtavuus

5.1.7 Mittauspiste Kymi7

Mittauspisteellä Kymi7 ei ollut jäätä.

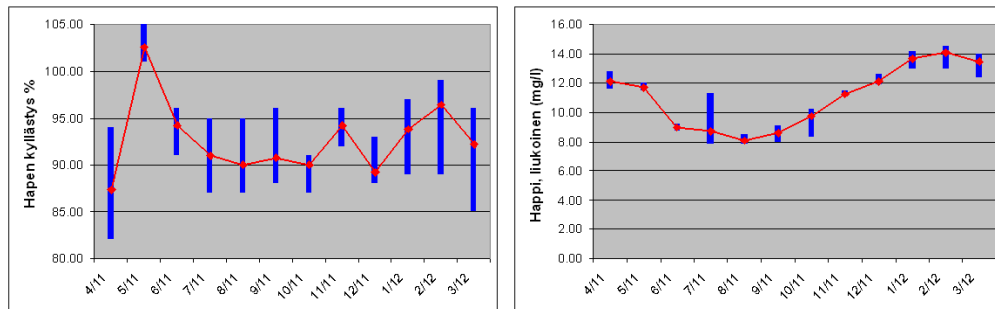
5.2 Vedenlaatu

5.2.1 Happitilanne

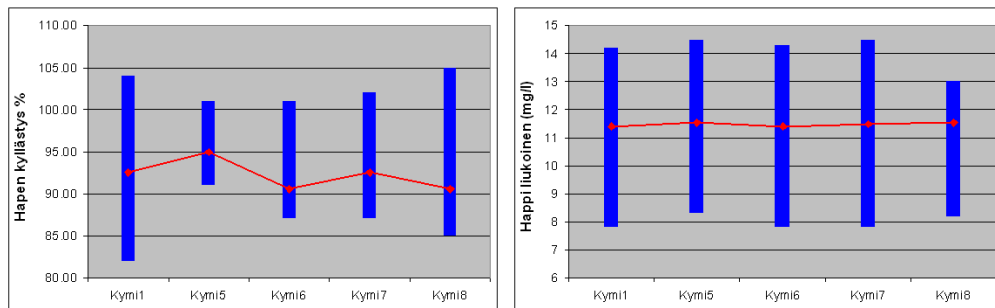
Happitilanne oli koko Kymijoella kohtuullisen hyvä tarkastelujaksolla (Kuva 5-14). Happipitoisuuden ajallinen vaihtelu on selvästi havaittavissa. Biologinen toiminta kuluttaa happea kesällä, mutta turbulenttisessa virtauksessa happea tulee tehokkaasti ilmakehästä tilalle. Ylikyllästymisen kesän alussa johtuu todennäköisesti fotosynteesin tuottamasta hapesta.

Hapen kyllästysprosentti oli korkeimmillaan toukokuussa 2011, jolloin se oli kaikissa mittauspisteissä yli 100 %. Toinen hapen kyllästysprosentin maksimi oli helmikuussa 2012, jolloin se oli lähes 100 % kaikissa mittauspisteissä. Hapen kyllästysprosentin minimi oli huhtikuussa 2011. Pienin hapen kyllästysprosentti oli huhtikuussa 2011 mittauspisteellä Kymi1, jolloin se oli 82 %. Korkeimpia happipitoisuudet olivat mittauspisteellä Kymi5, sillä sen yläpuolella on vettä hyvin hapettava Kokonkosken koskijakso (Kuva 5-15). Kuvassa 5-16 on esitetty mittauspisteiden happitilanne eri kuukausina.

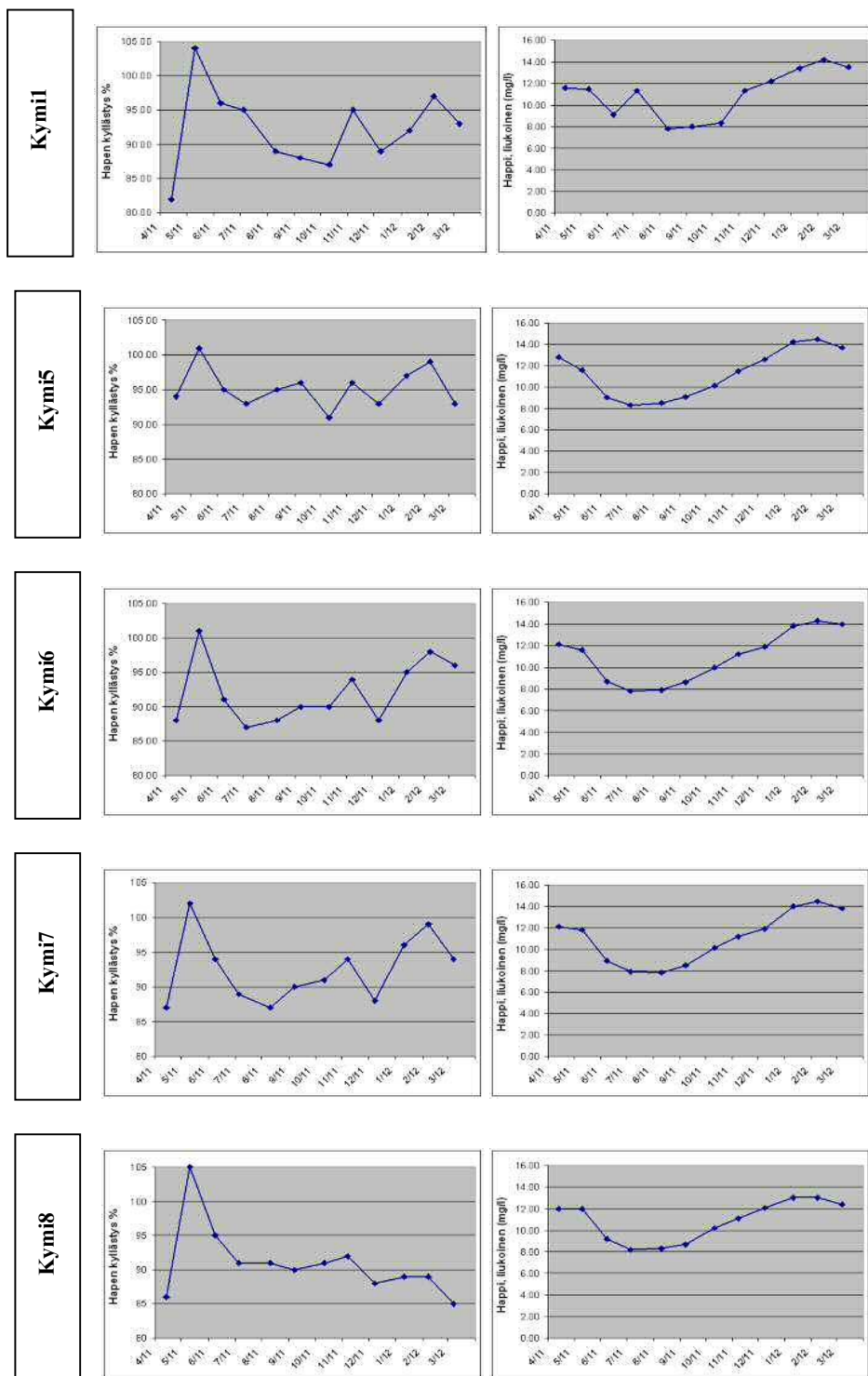
Liukoisen hapen määrä oli pienimmillään heinä- ja elokuussa 2011, jolloin liukoista happea oli noin 8 mg/l. Kaikissa muissa mittauspisteissä liukoisen hapen määrä oli hyvin samankaltainen, mutta mittauspisteellä Kymi1 oli heinäkuussa 2011 piikki, ja liukoisen hapen määrä oli 12 mg/l.



Kuva 5-14. Hapen kyllästysasteen ja liukoisen hapen keskiarvot Kymijoella eri kuukausina. Punainen viiva on keskiarvo, sininen palkki on vaihteluväli tarkastelujaksolla (OIVA – ympäristö- ja paikkatietopalvelu 2012)



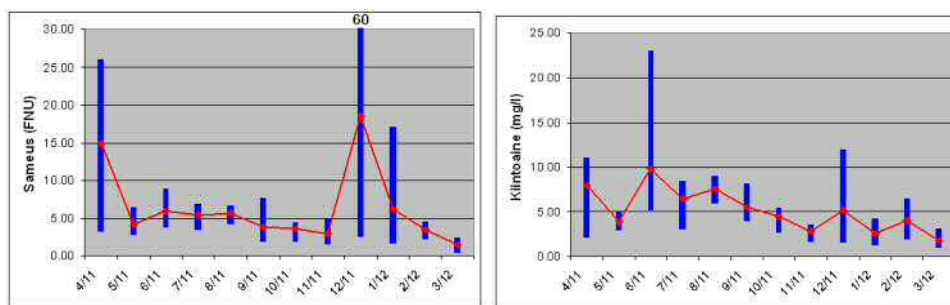
Kuva 5-15. Hapen kyllästysasteen ja liukoisen hapen mediaani Kymijoen eri mittauspisteillä. Punainen viiva on mediaani, sininen palkki on vaihteluväli tarkastelujaksolla (OIVA – ympäristö- ja paikkatietopalvelu 2012)



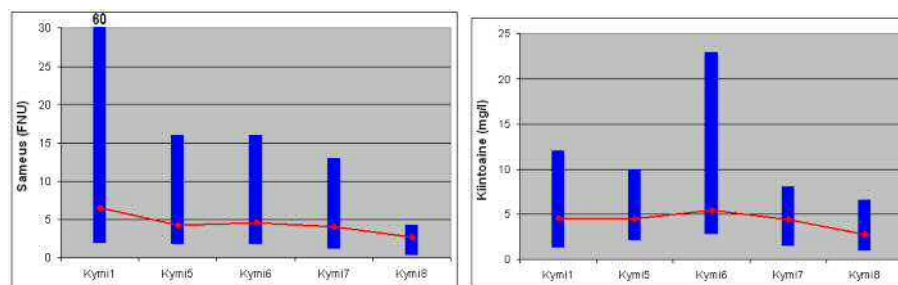
Kuva 5-16. Happitilanne eri kuukausina Kymijoen mittauspisteissä (OIVA – ympäristö- ja paikkatietopalvelu 2012)

5.2.2 Sameus ja kiintoaine

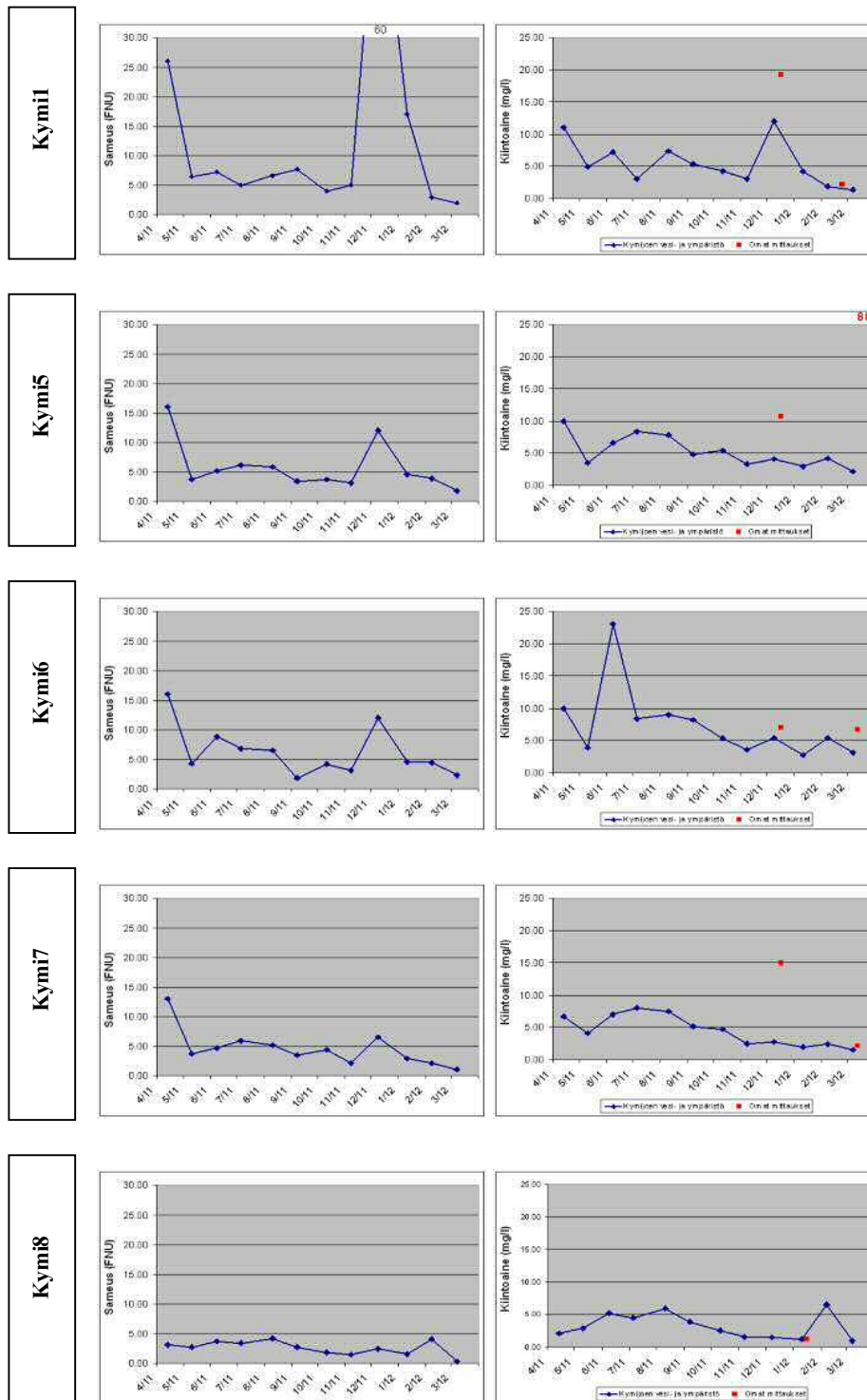
Sameus ja kiintoainepitoisuus ovat sidoksissa eroosioon ja valuntaan, joten maksimiarvot esiintyvät yleensä sadekausien jälkeen (Oravainen 1999). Kiintoainepitoisuuteen vaikuttaa myös perustuotanto joessa ja sen yläpuolisissa järvissä, mikä näkyy kesäkuun korkeissa kiintoainepitoisuuksissa (Kuva 5-17). Sameus määräytyy pitkälti valumatilanteen mukaan. Kuvaajissa onkin havaittavissa selvästi loppuvuoden voimakkaiden sateiden vaikutus sameuteen. Muutamalla pisteellä näkyy selvä piikki myös kiintoainepitoisuudessa (Kuva 5-19). Kuvaajista on selvästi havaittavissa myös kevään suuren valuman vaikutus sameuteen ja kiintoainepitoisuuteen. Sameus ja kiintoainepitoisuudet kasvavat hieman alajuoksulle päin tultaessa ja vesi oli selkeästi sameinta mittauspisteellä Kymi1 (Kuva 5-18). Vuodenaikaisvaihtelu oli runsasta kaikilla mittauspisteillä.



Kuva 5-17. Kymijoen sameus- ja kiintoainepitoisuuskeskiarvot eri kuukausina. Punainen viiva on keskiarvo, sininen palkki on vaihteluväli tarkastelujaksolla (OIVA – ympäristö- ja paikkatietopalvelu 2012)



Kuva 5-18. Sameus ja kiintoainepitoisuudet Kymijoen eri mittauspisteillä. Punainen viiva on mediaani, sininen palkki on vaihteluväli tarkastelujaksolla (OIVA – ympäristö ja paikkatietopalvelu 2012)



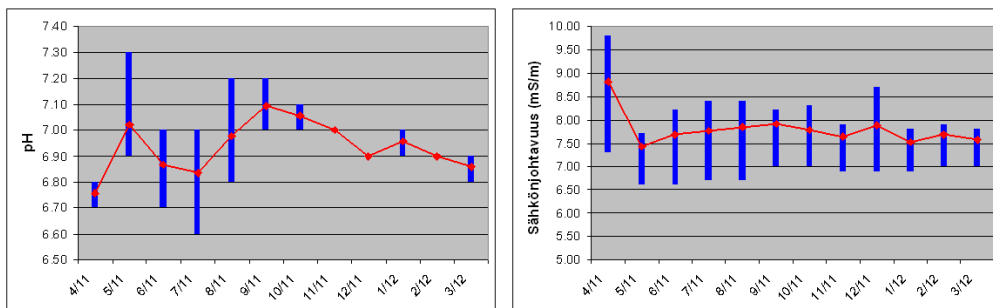
Kuva 5-19. Sameus ja kiintoainepitoisuus eri kuukausina Kymijoen mittauspisteissä (omat mittaukset punaisella) (OIVA – ympäristö- ja paikkatietopalvelu 2012)

5.2.3 pH ja sähkönjohtavuus

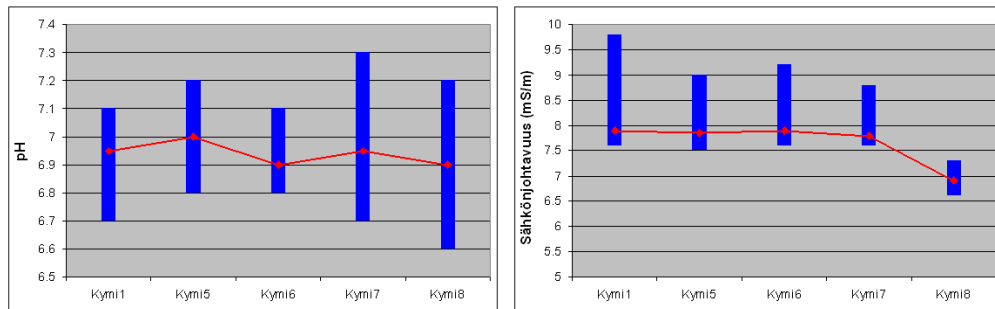
Veden pH oli kaikilla mittauspisteillä lähes neutraali (Kuva 5-20). pH oli alimmillaan huhtikuussa 2011, johtuen vesistöihin valuvista lumen sulamisvesistä. Korkeimmillaan pH oli syyskuussa 2011. Perustuotannon vaikutus näkyy pH:n kohoamisena loppukesästä. Pienin lukema mitattiin heinäkuussa 2011 mittauspisteellä Kymi8 (6,6). Suurin lukema mitattiin toukokuussa 2011 mittauspisteellä Kymi 7 (7,3) (Kuva 5-22).

Jätevesien sisältämät ionit nostavat Kymijoen veden sähkönjohtavuutta (Åkerberg 2012). Tämä näkyy sähkönjohtavuuden kasvuna mittauspisteiden Kymi8 ja Kymi7 välillä (Kuva 5-21). Tarkastelujakson mediaanien ero näiden mittauspisteiden välillä oli 0,9 mS/m ja keskiarvojen erotus 1,11 mS/m. Suurimmillaan ero oli heinäkuussa 2011 (1,7 mS/m), kun virtaama oli pienimmillään. Eli mitä vähemmän joessa virtaa vettä, sitä voimakkaampi on jätevesien sähkönjohtavuutta kohottava vaikutus.

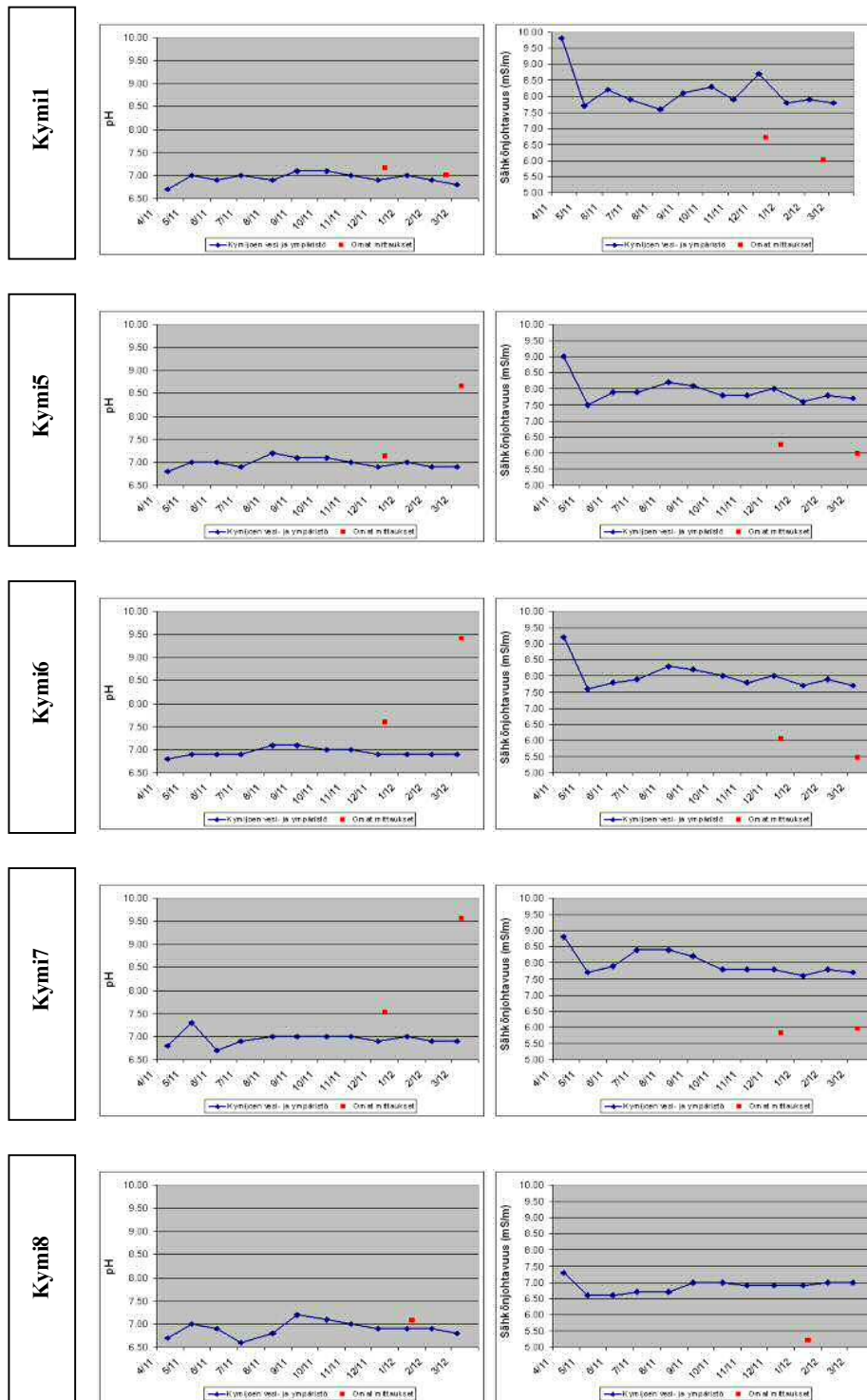
Sähkönjohtavuus pysyi kohtalaisen tasaisena koko vuoden, mutta huhtikuussa 2011 on havaittavissa selvä piikki, jolloin sähkönjohtavuus oli huomattavasti korkeampi. Huhtikuussa 2011 mitattiin tarkastelujakson korkein lukema mittauspisteellä Kymi1 (9,8 mS/m). Tarkastelujakson pienimmät lukemat mitattiin touko- ja kesäkuussa 2011 mittauspisteellä Kymi8 (6,6 mS/m).



Kuva 5-20. Kymijoen pH- ja sähkönjohtavuuskeskiarvot eri kuukausina. Punainen viiva on keskiarvo, sininen palkki on vaihteluväli tarkastelujaksolla (OIVA – ympäristö- ja paikkatietopalvelu 2012)



Kuva 5-21. pH ja sähkönjohtavuus Kymijoen eri mittauspisteillä. Punainen viiva on mediaani, sininen palkki on vaihteluväli tarkastelujaksolla (OIVA – ympäristö ja paikkatietopalvelu 2012)



5.2.4 Veden optiset ominaisuudet

Veden optisia ominaisuuksia tutkimalla saadaan selville vedessä olevan liuenneen valoa imevän orgaanisen aineksen, klorofyllin, ja partikkelien määrät.

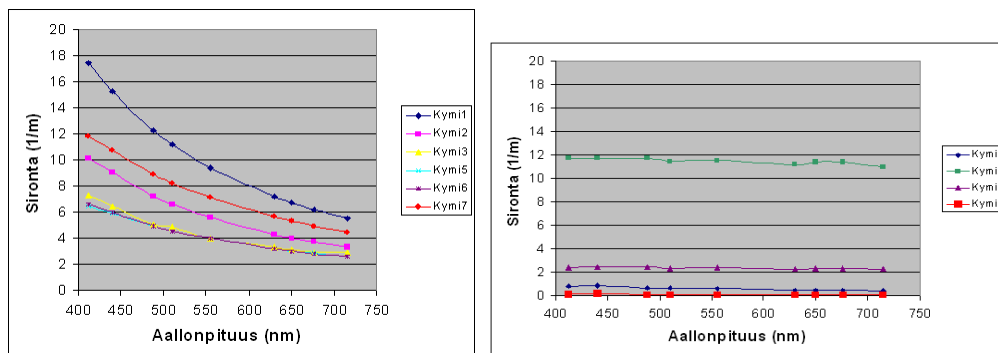
Eri epäpuhtaudet vaimentavat valoa eri aallonpituuksilla, jolloin mitatusta spektristä voidaan päätellä vedessä olevien epäpuhtauksien määrää. Liennut orgaaninen aines vaimentaa valoa lyhyillä aallonpituuksilla (400-500 nm). Myös kiintoaines vaimentaa valoa erityisesti lyhyillä aallonpituuksilla. Lyhyillä aallonpituusalueilla mittauksissa onkin havaittavissa selvää vaimenemista. Yhteyttäminen tapahtuu lähinnä pääosin sinisen ja punaisen valon aallonpituuksilla ja tästä syystä klorofylli antaa piikit aallonpituuksilla 430-440 nm ja 660-690 nm. Näillä aallonpituuksilla ei näy merkittävää vaimenemista mitatuissa spektreissä, joten klorofylliä ei ole ollut merkittäviä määriä. (Myrberg et al. 2006)

Absorption ja sironnan vuoksi säteily vaimenee vedessä eksponentiaalisesti kaavan $I_z = I_0 e^{-Az}$ mukaan, jossa I_z on valonmäärä tietyllä syvyydellä, I_0 on valonmäärä heti pinnan alla, A on vaimenemiskerroin ja z on syvyys. Valon vaimenemiskertoimen avulla voidaan arvioida myös näkösyvyyttä. Poole ja Atkins (1929) osoittivat, että näkösyvyys on noin $1,7/A$.

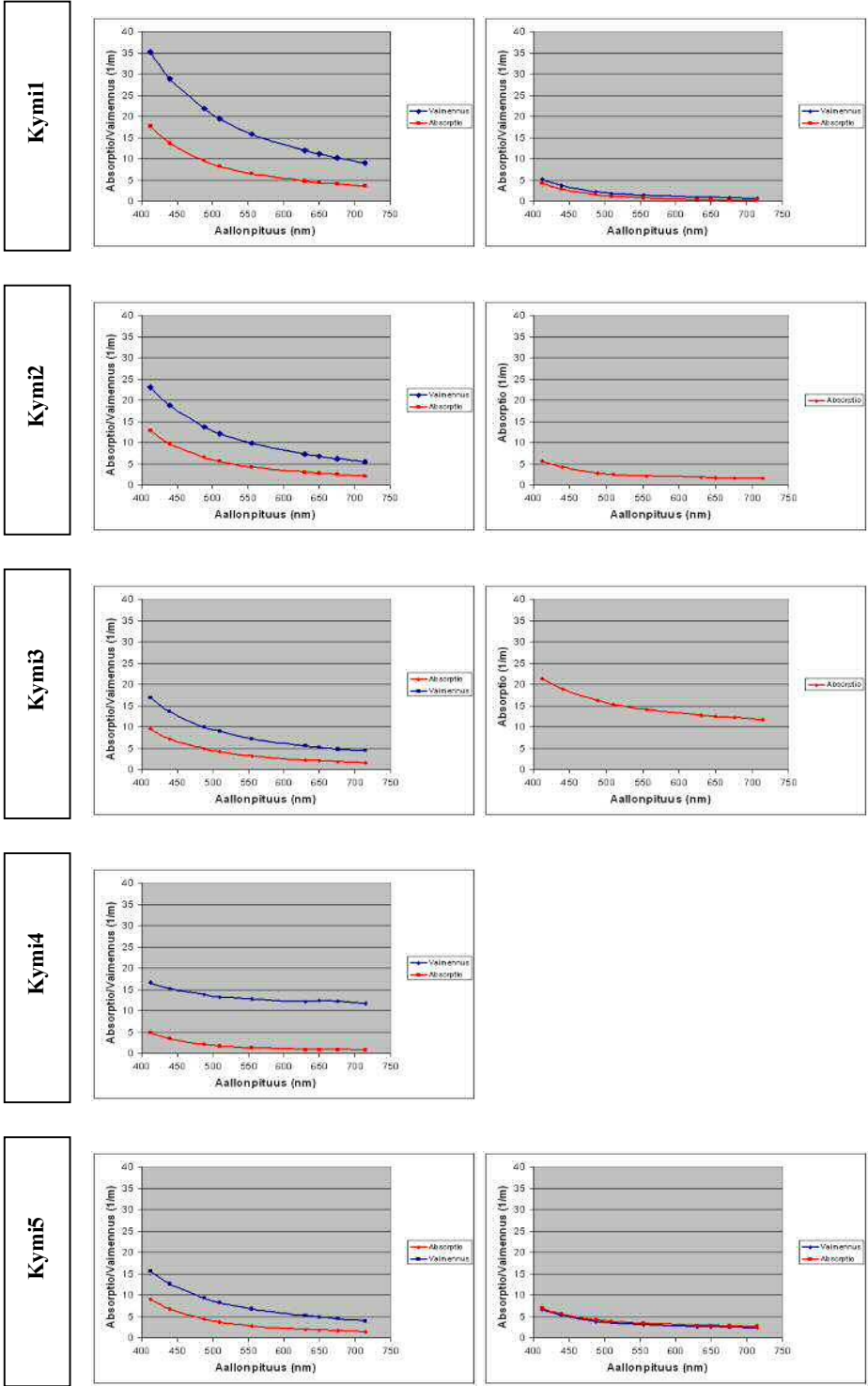
Sironnan kuvasta 5-23 näkee, että partikkelien määrä lisääntyy joen alajuoksulle päin. Ehdottomasti eniten sirontaa tapahtui mittauspisteellä Kymi1. Mittauspisteellä Kymi3 sironta on hyvin vähäistä, joten partikkelit ovat tulleet jokiveteen pisteiden Kymi1 ja Kymi3 välissä. Yläjuoksulle päin siirtyessä sironta vähenee paitsi mittauspisteellä Kymi7, jossa on sirontaa toiseksi eniten. Tämä saattaa johtua mittauspisteen yläpuolella olevasta vedenpuhdistuslaitoksesta. Mittauspisteillä Kymi3 (läntinen haara), Kymi5 ja Kymi6 (itäinen haara) on sirontaa lähes yhtä paljon kaikilla mittauspisteillä, vaikka ne ovatkin joen eri haaroista. Kolmella ylimmällä mittauspisteellä (Kymi9, -10 ja -11) vaimennusta ja absorptiota oli niin vähän ja niiden erot ovat pienempiä kuin mittalaitteen tarkkuus, joten sirontaa ei saatu tuloksista laskettua. Käytännössä sironta oli näillä mittauspisteillä häviävän pientä.

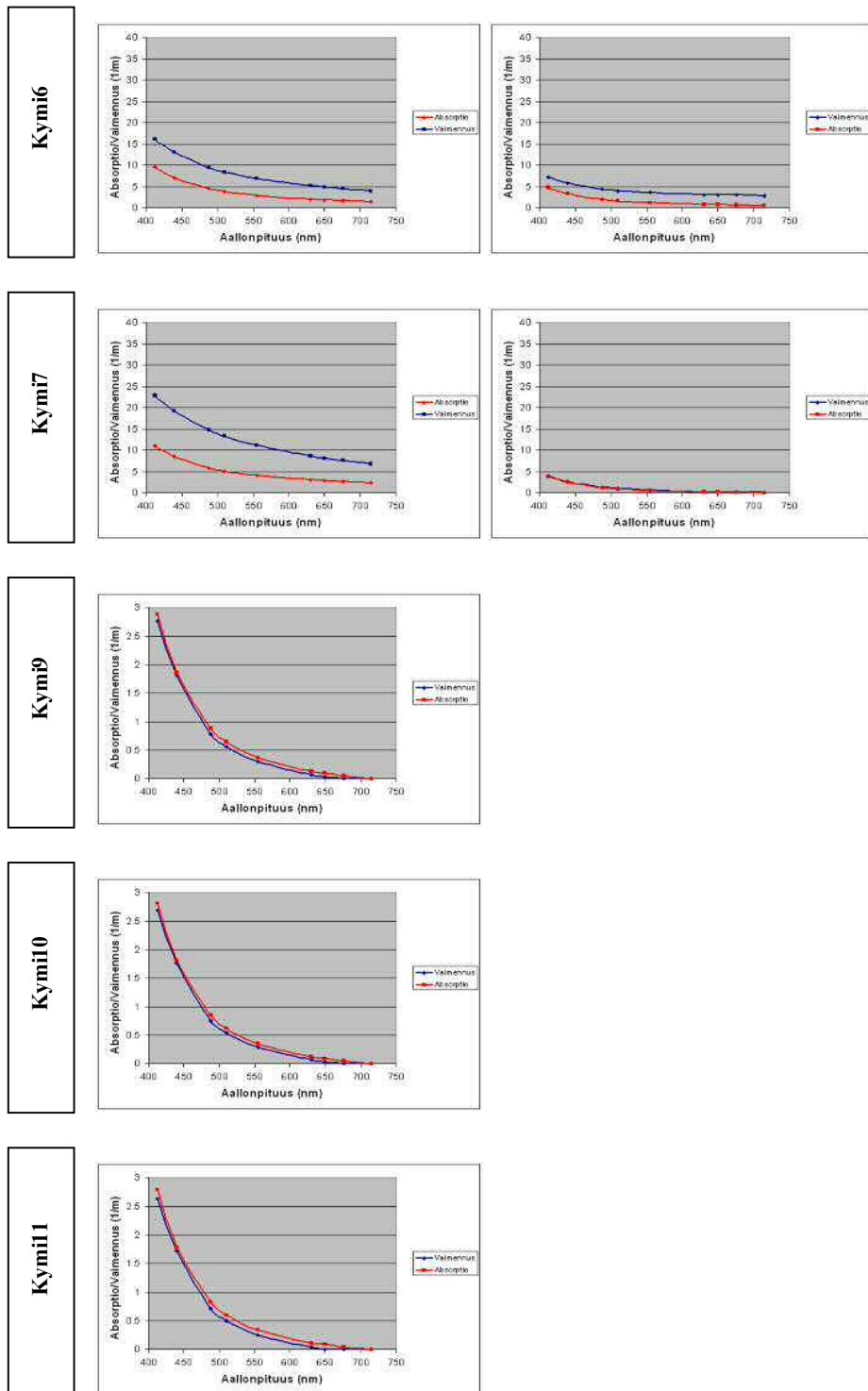
Talvella sirontaa oli huomattavasti vähemmän ja sitä oli lähes yhtä paljon kaikilla aallonpituuksilla. Mittauspisteellä Kymi4 oli sirontaa huomattavasti enemmän kuin muilla mittauspisteillä. Mittauspisteellä Kymi3 absorptio oli yli kaksinkertainen jääkauden aikana verrattuna avoveden tuloksiin. Kaikilla muilla pisteillä absorptio ja vaimennus pienenevät huomattavasti (Kuva 5-24).

Kymijoen yläosissa Vuolenkoskella (Kymi 9), Heinolassa Konniveden ja Ruotsalaisen välissä (Kymi10) ja Päijänteellä Kymijoen lähtöpaikalla (Kymi11), vedessä oli huomattavasti vähemmän partikkeleita. Esimerkiksi mittauspisteellä Kymi1 vaimennus oli 35 1/m aallonpituudella 412 nm, kun taas mittauspisteellä Kymi11 vaimennus oli 2,8 1/m.



Kuva 5-23. Sironta Kymijoen eri mittauspisteissä avoveden aikana (vasemmalla) ja jääkauden aikana (oikealla).





Kuva 5-24. Vaimennus ja absorptio avoveden aikana (vasemmalla) ja jääkauden aikana (oikealla) Kymijoen eri mittauspisteissä.

6. Keskustelu

6.1 Jääolosuhteet

Kymijoen eri mittauspisteillä jääkannen peittävydessä ja rakenteessa oli hyvin paljon eroja, johtuen erilaisista olosuhteista ja Kymijoella käytetyistä jääntorjuntakeinoista. Jään rakenne eri mittauspisteillä on esitetty Taulukossa 6-1 ja kuvassa 6-1.

Mittauspisteillä Kymi1, -3 ja -4 oli vain reunajäätä. Reunajään rakenteessa oli suuria eroja mittauspisteiden välillä. Mittauspisteen Kymi1 jää muodostui lähes kokonaan kohva- ja suppojäädästä. Jääkannen pohjalla oli vain 2 cm teräsjäätä, kun taas Kymi3:n jäänäyte oli kokonaan teräsjäätä. Todennäköisesti mittauspisteen Kymi3 yläjuoksun puolella oleva jääpuomi on toiminut tehokkaasti ja kerännyt pinnalla virtaavan suppojään ja muodostanut eristävän jääkannen, jolloin suppojäätä ei ole päässyt mittauspisteelle Kymi3 asti ja jääkansi on muodostunut pelkästä teräsjäädästä. Mittauspisteellä Kymi4 oli suppo-, kohva- ja teräsjäätä.

Mittauspisteillä Kymi2, -5 ja -6 oli koko joen levyinen kiinteä jääkansi. Mittauspiste Kymi2 on vapaasti virtaavalla osuudella ja jäänäytteessä oli suppo-, kohva ja teräsjäätä. Mittauspisteen Kymi5 alajuoksun puolella oleva jääpuomi näytti toimivan tehokkaasti suppojään keräämisessä ja Kymi5:n jäänäyte koostui pelkästään suppo- ja kohvajäädästä. Mittauspisteellä Kymi5 oli myös tutkituista mittauspisteistä paksuin jääkansi (55 cm). Mittauspisteen Kymi6 yläjuoksun puolella oleva jääpuomi näytti myös toimineen tehokkaasti. Kymi6:n paksuhienäytteestä kävi ilmi, että alkutalvesta oli hyvin kylmiä ajanjaksoja, jolloin jäähän jäi paljon pitkulaisia ilmakuplia, silti suppojäätä ei jääkanteen ollut tullut juurikaan. Tästä voi päätellä, että yläjuoksulla ollut jääpuomi on muodostanut eristävän jääkannen, eikä suppojäätä ole päässyt muodostumaan yläjuoksulla ja kulkeutumaan mittauspisteelle.

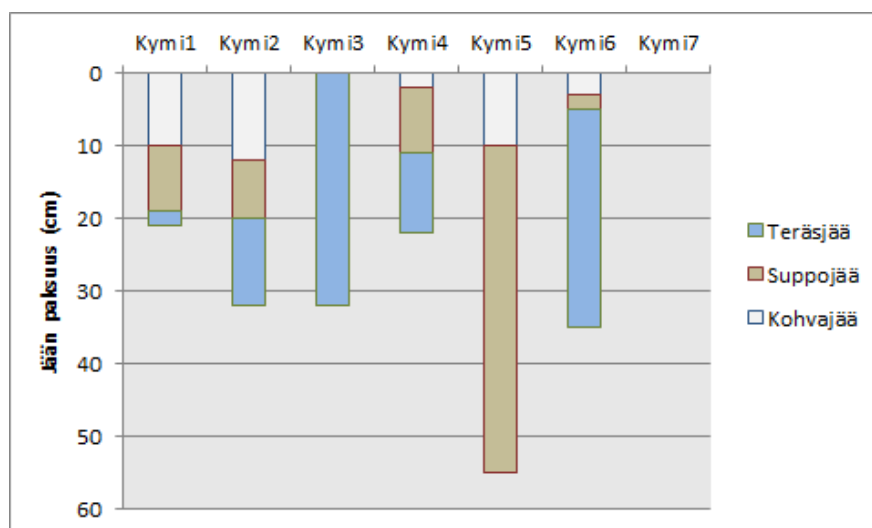
Osalla mittauspisteistä pH ja sähkönjohtavuus olivat pienempiä teräsjäässä kuin kohva- ja suppojäässä (Kymi1, -2 ja -6). Tämä on normaalia, sillä teräsjää työntää jäättyessään epäpuhtauksia pois ja on sen takia normaalisti puhtaampaa kuin kohva-

tai suppojää. Mittauspisteen Kymi3 jäänäyte koostui kokonaan teräsjäästä ja koska teräsjään jäätyessä epäpuhtaudet työntyvät alaspäin, niin pH- ja sähkönjohtavuusarvot olivat myös suurempia alempana. Mittauspisteellä Kymi4 pH oli pienempi teräsjäässä, mutta sähkönjohtavuus oli kuitenkin suurempi. Tämä saattaa selittyä teräsjääkerrosten välissä olleilla suppojääkerroksilla, joissa on ollut mukana pohjasedimenttejä.

Mittauspisteen Kymi2 jäänäytteessä oli korkeimmat pH- ja sähkönjohtavuusarvot keskellä näytettä, jossa oli myös kerros, joka kiderakenteen perusteella vaikuttaisi syntyneen veden tulviessa jään päälle. pH- ja sähkönjohtavuusarvot tukevat tätä päätelmää. Mittauspisteen Kymi5 jäänäytteessä pH- ja sähkönjohtavuusarvot ovat huomattavasti suurempia alempana. Tämä on hyvin linjassa sen kanssa, että näytteen alaosissa oli selvästi havaittavissa suuria määriä pohjasedimenttiä. Mittauspisteellä Kymi6 pH- ja sähkönjohtavuusarvot olivat huomattavasti suurempia näytteen yläosissa, joka vahvistaa sen, että ylemmissä kerroksissa olevat kohvajääkerrokset ovat todennäköisesti syntyneet veden tulviessa jään päälle. Taulukossa 6-2 on esitetty yhteenveto jäässä olleista epäpuhtauksista.

Taulukko 6-1. Yhteenvetotaulukko jäänpaksuudesta ja -rakenteesta Kymijoen eri mittauspisteillä. Taulukossa jään kokonaispaksuus ja kerrosten paksuudet on ilmoitettu senttimetreinä.

	Kymi1	Kymi2	Kymi3	Kymi4	Kymi5	Kymi6	Kymi7
Kohvajää	10	12	0	2	10	3	0
Suppojää	9	8	0	9	45	2	0
Teräsjää	2	12	32	11	0	30	0
Kokonaispaksuus	21	32	32	22	55	35	0



Kuva 6-1. Jään rakenne Kymijoen eri mittauspisteillä.

Taulukko 6-2. Yhteenvedotaulukko jään epäpuhtauksista Kymijoen eri mittauspisteillä.

	Kohvajää	Suppojää	Teräsjää
Kymi1	- Paljon pieniä (< 1 mm) ilmakuplia ylimmässä 3 cm kerroksessa - 2-5 mm ilmakuplia 4-10 cm kerroksessa	- Noin 1 mm ilmakuplia	- Ei epäpuhtauksia
Kymi2	- Paljon pieniä (< 1 mm) ilmakuplia - Muutamia 3-5 mm ilmakuplia	- Paljon pieniä (< 1 mm) ilmakuplia - Muutamia 3-5- mm ilmakuplia - Sedimenttihiukkasia	- Pitkulaisia ilmakuplia (leveys 1 mm, pituus 3-10 mm)
Kymi3	(Ei kohvajäätä)	(Ei suppojäätä)	- Muutamia pieniä (1-2 mm) ilmakuplia - Muutamia sedimenttihiukkasia
Kymi4	- Pieniä (< 1 mm) ilmakuplia - Lehti - Sedimenttihiukkasia	- Paljon pieniä (< 1 mm) ilmakuplia - Sedimenttihiukkasia	- Muutamia ilmakuplia (< 1-1 mm)
Kymi5	- Paljon pieniä (< 1 mm) ilmakuplia.	- Paljon pieniä (< 1 mm) ilmakuplia - Muutamia 1-5 mm ilmakuplia - Paljon sedimenttihiukkasia	(Ei teräsjäätä)
Kymi6	- Paljon pieniä (< 1 mm) ilmakuplia - Muutamia 1-3 mm ilmakuplia	- Paljon pieniä (< 1 mm) ilmakuplia	- Paljon pitkulaisia ilmakuplia (leveys 1 mm, pituus 3-20 mm) - Muutamia pyöreitä ilmakuplia (noin 2 mm) - Pieniä (< 1 mm) ilmakuplia - Sedimenttihiukkasia
Kymi7	(Ei jäätä)	(Ei jäätä)	(Ei jäätä)

6.2 Veden laatu

Veden laatu oli koko Kymijoella kohtuullisen hyvä, vaikkakin eri osissa jokea oli selvästi havaittavissa vaihtelua veden laadussa. Taulukossa 6-3 on esitetty yhteenveto Kymijoen veden laadusta eri mittauspisteillä.

Happitilanne oli koko Kymijoella kohtuullisen hyvä. Hapen kyllästysprosentti oli suurimmillaan toukokuussa ja helmikuussa. Suurimmat hapen kyllästysarvot olivat odotetusti mittauspisteellä Kymi5, sillä sen yläjuoksun puolella on hyvin vettä hapettava koskijakso.

Sameudessa ja kiintoainepitoisuudessa oli huomattavan suurta vuodenaikaisvaihtelua. Kevään lumen sulaminen ja loppuvuoden 2011 runsaat sateet näkyivät selvästi sameusarvoissa ja muutamalla mittauspisteellä myös kiintoainepitoisuudessa. Perustuotannon vaikutus oli selvästi havaittavissa kesäkuun korkeissa kiintoainepitoisuuksissa. Mittauspisteellä Kymi1 vesi oli huomattavasti sameampaa kuin muissa mittauspisteissä. Mittauspisteellä Kymi5 omat mittaukset olivat huomattavasti korkeampia, kuin Kymijoen vesi ja ympäristö ry:n mittauksen mukaan. Jälkimmäinen mittaukseni on tehty Kymijoen vesi ja ympäristö ry:n mittauksen jälkeen, joten on mahdollista, että Kymijokeen on tullut äkillisiä päästöjä teollisuuslaitoksesta. Kymijoen vesi ja ympäristö ry:n mittauksista ei käy ilmi suodatintyyppi. Mikäli suodatin on eri, niin tulokset eivät ole välttämättä vertailukelpoisia. Kiintoainepitoisuuden mittaaminen on kohtuullisen yksinkertaista ja varmaa, joten molempia tuloksia voidaan pitää luotettavina.

Kymijoen veden pH oli koko tarkastelujaksolla lähes neutraali. Kevään sulamisvesien happamoittava vaikutus ja perustuotannon pH:ta kohottava vaikutus olivat kuitenkin havaittavissa. Omien mittausteni pH-arvot olivat jäätalven aikana huomattavasti korkeammat kuin Kymijoen vesi ja ympäristö ry:n mittausten mukaiset. pH-näytteen säilyvyys on huono ja määrittäminen tulisi tehdä mahdollisimman nopeasti. Omia näytteitäni säilytettiin kuitenkin useita kuukausia ennen näytteen analysointia, joten Kymijoen vesi ja ympäristö ry:n tulokset ovat todennäköisesti luotettavampia.

Jätevesien sähkönjohtavuutta nostava vaikutus oli selvästi havaittavissa mittauspisteiden Kymi7 ja -8 välillä. Suurimmillaan ero oli heinäkuussa, kun virtaama oli pienimmillään. Tämä tukee päätelmää, että jätevedet nostavat Kymijoen sähkönjohtavuutta. Omat tulokseni olivat selvästi alhaisempia kuin Kymijoen vesi ja ympäristö ry:n tulokset, mutta muuten ne vaikuttivat olevan linjassa, joten on mahdollista, että mittauksissa on ollut jokin systemaattinen virhe.

Sironnan eli partikkelien määrä Kymijoella lisääntyi joen alajuoksulle päin ja Mittauspisteellä Kymi1 oli selvästi eniten sirontaa. Mittauspisteellä Kymi7 oli kuitenkin toiseksi eniten sirontaa. Tämä saattaa johtua mittauspisteiden Kymi7 ja Kymi8 välissä sijaitsevan vedenpuhdistuslaitoksen päästöistä. Kymijoen yläosan järvissä vesi oli huomattavasti puhtaampaa kuin varsinaisessa joessa ja myös sironnan arvot olivat häviävän pieniä.

Jäätalven aikana sironta laski kaikilla mittauspisteillä, joista oli mittaustulokset avoveden ja jään aikana. Mittauspisteellä Kymi4 oli kuitenkin huomattavan paljon sirontaa jäätalven aikana. Absorptio ja vaimennus laskivat suurimmalla osalla mittauspisteitä noin puoleen siitä mitä ne olivat avoveden aikana. Kuitenkin mittauspisteellä Kymi3 absorptio kasvoi noin kaksinkertaiseksi avoveden tulokseen verrattuna. Tällä mittauspisteellä oli myös huomattavan paljon kiintoainetta jäätalven mittauksissa.

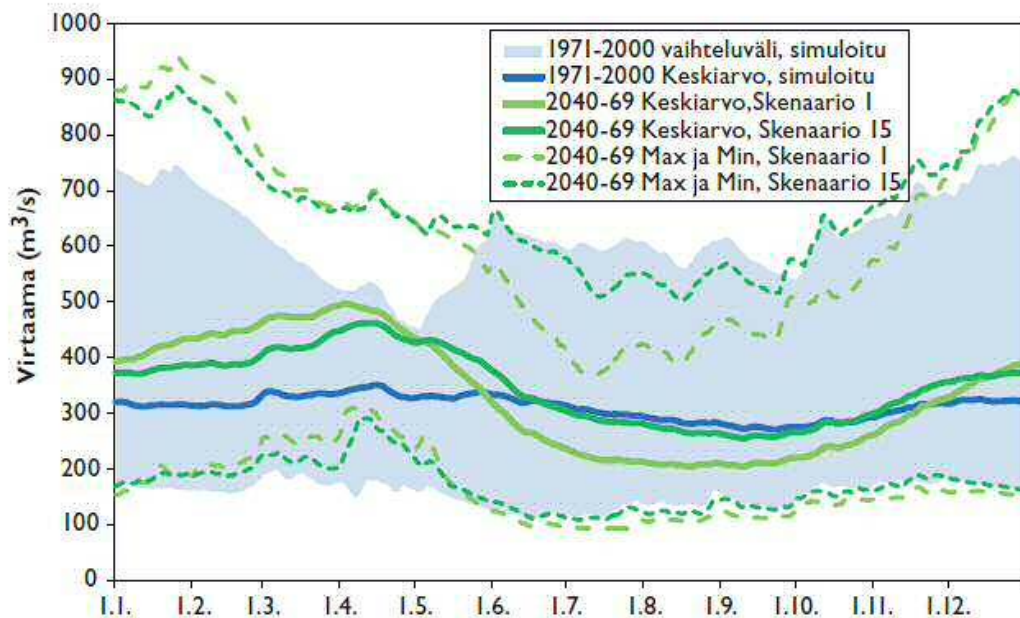
Taulukko 6-3. Yhteenvedotaulukko vedenlaadusta Kymijoen eri mittauspisteillä. Taulukon arvot ovat mediaaniarvoja koko vuoden mittauksista (OIVA – ympäristö- ja paikkatietopalvelu 2012). Kymi2, -3, -4, 9, -10 ja -11 tulokset ovat keskiarvoja omien mittausten kahdesta arvosta.

	Hapen kyllästys %	Happi, liukoinen (mg/l)	Sameus (FNU)	Kiintoaine (mg/l)	pH	Sähkönjohtavuus (mS/m)
Kymi1	93	11,4	6,5	4,6	6,9	7,90
Kymi2				7,6	7,0	6,63
Kymi3				87,7	6,9	6,50
Kymi4				20,4	8,2	5,93
Kymi5	95	11,6	4,3	4,5	7,0	7,85
Kymi6	91	11,4	4,6	5,4	6,9	7,90
Kymi7	93	11,5	4,1	4,4	6,9	7,80
Kymi8	91	11,6	2,7	2,8	6,9	6,90
Kymi9				0,4	7,2	5,46
Kymi10				0,7	7,0	6,18
Kymi11				0,7	7,1	5,70

6.3 Ilmastonmuutoksen vaikutukset jokien jääolosuhteisiin

Ilmastonmuutos tulee merkittävästi muuttamaan jokien virtaamien ja vedenkorkeuksien vuodenaikaista vaihtelua. Ilmastonmuutoksen on ennakoitu vaikuttavan Etelä-Suomessa siten, että talvet muuttuvat leudommiksi ja sateisemmiksi ja samalla talvivirtaamat lisääntyvät. Kevään lumen sulamistulvien suuruus pienenee lauhempien talvien johdosta ja kesän kuivuus tulee pahenemaan. Talvella taas tullaan näkemään enemmän tulvia johtuen syksyn lisääntyvistä sateista ja talvella tulevasta vesisateesta ja jo talven aikana sulavasta lumesta (Kuva 6-2). Eri

ilmastoskenaariot eroavat toisistaan merkittävästi, mutta muutoksen suunta on kaikissa skenaarioissa samankaltainen. (Veijalainen 2012)



Kuva 6-2. Kymijoen virtaaman maksimi, minimi ja keskiarvo referenssijaksolla 1971–2000 ja jaksolla 2040–69 kahdella eri skenaariolla. Skenaariossa I5 lämpötilan nousu on keskimääräistä pienempää (Veijalainen 2012)

Leudommista talvista johtuen jäätalven pituus lyhenee, sillä jääpeite muodostuu myöhemmin ja sulaa jo aikaisemmin kuin ennen. Myös jäätalven aikana saattaa tulla leudompia kausia, jolloin jääkansi sulaa osittain.

Kylmiä ja runsaslumisia jaksoja tulee edelleenkin olemaan, ja ilman jääkannen eristävää vaikutusta suppojääongelmat tulevat lisääntymään. Talven kylmä ajanjakso tulee lyhenemään, joten suppojääongelmia ei tule kuitenkaan tapahtumaan niin pitkällä ajanjaksolla. Kuitenkin lisääntynyt talvivirtaama ja jääkannen puuttuminen aiheuttaa pahoja suppojääongelmia silloin, kun kylmiä ajanjaksoja esiintyy. Muuttuneiden virtausolosuhteiden takia suppojääongelmia saattaa esiintyä myös paikoissa joissa niitä ei ole aikaisemmin esiintynyt mikä tulee vaikeuttamaan niiden ennakoimista ja torjumista (Väkevä 2004).

Runsat sateet heti kylmän jakson perään saattavat aiheuttaa myös Kymijoelle jäiden lähtöön liittyviä jääpatoja, vaikka niitä ei siellä ole aikaisemmin juurikaan esiintynyt johtuen joen suuresta järvisyysprosentista, joka tasoittaa virtaamia.

7. Johtopäätökset

Kymijoen veden laatua ja jääoloja seurattiin kenttämittauksina ja ulkopuolisten tutkimuslaitosten mittausten avulla vuosina 2011–2012. Keskeiset tulokset jään rakenteen, peittävyiden ja vedenlaadun osalta olivat seuraavat.

7.1 Jään rakenne ja peittävyys

Kymijoen eri mittauspisteillä jääkannen peittävydessä ja rakenteessa oli hyvin suuria eroja. Jään rakenteessa tai peittävydessä ei havaittu merkittäviä eroja jotka johtuisivat siirtymisestä yläjuoksulta alajuoksulle, vaan erot johtuivat lähinnä hyvin erilaisista virtausolosuhteista ja Kymijoella käytetyistä jääntorjuntakeinoista.

Jääpuomien vaikutusta jääkanteen ei havaittu kaikilla mittauspisteillä, jotka olivat jääpuomien vaikutusalueella. Muutamalla mittauspisteellä jääpuomin havaittiin kuitenkin toimivan toivotulla tavalla, ja sillä oli merkittävä vaikutus jään rakenteeseen ja jääkannen peittävyyteen.

Suuremman virtaaman ($> 200 \text{ m}^3/\text{s}$) osuuksilla (Kymi1, -3 ja -4) oli vain reunajäätä tai ei jääkanta ollenkaan (Kymi7). Pienemmän virtaaman ($< 200 \text{ m}^3/\text{s}$) alueella (Kymi2, -5 ja -6) oli kiinteä koko joen levyinen jääkansi.

Teräsjään pH ja sähkönjohtavuus olivat mittauksissa odotetusti alempia kuin kohva- ja suppojäässä. Kohvajään kohonneiden pH- ja sähkönjohtavuusarvojen ja ohuthienäytteiden avulla pystyttiin päättelemään veden tulviminen jään päälle. Suppojäässä pH- ja sähkönjohtavuusarvot olivat suurimpia johtuen suppojäähän sitoutuneista pohjasedimenteistä.

7.2 Veden laatu

Veden laatu oli koko Kymijoella kohtuullisen hyvä. Veden laatu muuttui kuitenkin selkeästi huonommaksi siirryttäessä alajuoksulle päin. Veden laadun muutokset eri mittauspisteiden välillä aiheutti joen alajuoksulla sijaitsevat teollisuuslaitokset ja vedenpuhdistamot. Kymijoen kahden päähaaran välillä ei ollut havaittavissa merkittäviä eroja veden laadussa. Veden ladussa ei havaittu merkittävää kerroksellisuutta johtuen jokiveden virtauksen turbulenttisesta luonteesta.

Happitilanne oli koko Kymijoella kohtuullisen hyvä johtuen joen turbulenttisesta virtauksesta. Fotosynteesin tuottaman hapen aiheuttama ylikyllästys ja biologisen tuotannon aiheuttama hapen kulutus oli selvästi havaittavissa happitilanteessa. Tästä syystä hapen kyllästysprosentti oli suurimmillaan toukokuussa ja helmikuussa.

Jätevedet nostavat Kymijoen veden sähkönjohtavuutta ja sähkönjohtavuusarvoissa oli selkeä ero yläjuoksun ja alajuoksun välillä. Jätevesien sähkönjohtavuutta nostava vaikutus oli selvästi havaittavissa varsinkin heinäkuussa, jolloin virtaus oli pienimmillään.

Absorptio- ja vaimennusmittausten avulla lasketussa sironnassa oli havaittavissa selkeä sironnan lisääntyminen yläjuoksulta ja alajuoksulle siirryttäessä. Yläjuoksun mittauspisteillä sironta oli häviävän pientä ja alimmilla pisteillä oli selkeästi suurimmat sironta-arvot. Jäätalven aikana sironta laski kaikilla mittauspisteillä, joista oli käytettävissä sironta-arvot sulan veden ja jäätalven ajalta.

7.3 Mittausstrategia

Mittauspisteet näyttivät kuvaavan koko Kymijokea ja sen erilaisia olosuhteita hyvin. Jatkossa pitää miettiä, että kannattaako karsia mittauspisteiden määrää ja valita vain ne pisteet, joista on olemassa Kymijoen vesi ja ympäristö ry:n tuloksia vertailuarvoiksi (Kymi1, -5, -6, -7 ja -8). Näidenkin mittauspisteiden avulla saataisiin kuvattua koko joen olosuhteita kohtuullisen hyvin. Mittauspisteiden karsimisessa on etuna myös se, että kaikki mittauspisteet voitaisiin tutkia yhden kenttämatkan aikana, jolloin myös eri mittauspisteiden tulokset olisivat keskenään paremmin

vertailukelpoisia. Mittauspiste Kymi1 oli tässä tutkimuksessa paikassa, jossa mittaukset piti tehdä maantiesillalta, jossa on runsaasti liikennettä. Tästä syystä mittauspistettä Kymi1 kannattaa jatkossa siirtää noin 600 metriä yläjuoksulle Ahvenkosken voimalaitoksen toiselle puolelle, jossa on kävelysilta.

8. Lähteet

Ashton, G. (toim.), 1986. *River Lake Ice Engineering*. Water Resources Publications. Littleton, Colorado.

Hanski, A., 2007. *Kymijoen pilaantuneet sedimentit. Kunnostuksen yleissuunnitelma*. Kaakkois-Suomen ympäristökeskus. Ramboll Finland Oy, 64 s.

Hicks, F., 2009. *An overview of river ice problems: CRIPE07 guest editorial*. Cold Regions Science and Technology, vol. 55, no. 2, s. 175-185.

Ilmatieteen laitos, 2011 ja 2012. *Ilmastokatsaus-lehdet* 04/2011–03/2012.

Kaakkois-Suomen ympäristökeskus, 2008. *Kymijoki*. Verkkojulkaisu. Päivitetty 13.8.2008. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=4651&lan=fi>. Viitattu joulukuussa 2012.

Kajander, J., 1995. *Cryophenological records from Tornio*. Vesi- ja ympäristöhallitus, Helsinki. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 552.

Maanmittauslaitos, 2012. Sisältää Maanmittauslaitoksen maastokartan 08/2012 aineistoa.

Myrberg, K., Leppäranta, M. ja Kuosa, H., 2006. *Itämeren fysiikka, tila ja tulevaisuus*. Yliopistopaino, Helsinki.

Niemelä, E., Hassinen, E., Muladal, R., Brørs, S. ja Sandring, S., 2009. *Atlantin lohi (Salmo salar, L.) Tenojoen vesistöissä I: Ympäristöolosuhteet subarktisella Tenojoen vesistöalueella ja niiden vaikutus lohenkalastukseen ja loheen*. Finnmarkin lääninhallitus, Luonnonsuojeluosasto, Raportti 5/2009.

OIVA – ympäristö- ja paikkatietopalvelu, 2012. Valtion ympäristöhallinto. Tiedot ladattu joulukuussa 2012.

Oravainen, R., 1999. *Opasvihkonen vesistötulosten tulkitsemiseksi havaintoesimerkein varustettuna*. Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry.

Palosuo, E., 1965. *Frozen slush on lake ice*. Geophysica, vol. 9, no. 2, s. 131-147.

- Poole, H. ja Atkins, W.**, 1929. *Photo-electric Measurements of Submarine Illumination throughout the Year*. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 16 (1), s. 297-324.
- Qu, Y. X. ja Doering, J.**, 2007. *Laboratory study of anchor ice evolution around rocks and on gravel beds*. Canadian Journal of Civil Engineering, vol. 34, no.1, s. 46-55.
- Reiter, P.**, 1989. *Matemaattinen jokijäämalli, jokijääprojektin loppuraportti*. Kauppa- ja teollisuusministeriö, Helsinki.
- Shen, H. T.**, 2010. *Mathematical modeling of river ice processes*. Cold Regions Science and Technology, vol 62, no. 1, s. 3-13.
- Timonen, R., Ruuska, R., Suihkonen, K., Taipale, P., Ollila, M., Kouvalainen, S., Savea-Nukala, T., Maunula, M., Vähäsöyrinki, E. ja Hanski, M.**, 2003. *Suurtulvatyöryhmän loppuraportti*. Maa- ja metsätalousministeriö. Helsinki. Työryhmämuistio MMM 2003:6.
- Veijalainen, N., Jakkila, J., Nurmi, T., Vehviläinen, B., Marttunen, M. ja Aaltonen, J.**, 2012. *Suomen vesivarat ja ilmastonmuutos – vaikutukset ja muutoksiin sopeutuminen. WaterAdapt-projektin loppuraportti*. Suomen ympäristö 16/2012, Luonnonvarat.
- Vesihallitus**, 1972. *Kymijoen vesistön alaosan vesien käytön kokonaissuunnitelma. 1. osa, suunnittelualue ja vesivarat*. Tiedotus 29. Vesihallitus, Helsinki.
- Väkevä, J.** (toim.), 2004. *Hyydöntorjunta Kymijoella*. Alueelliset ympäristöjulkaisut 354. Kaakkois-Suomen ympäristökeskus.
- Zubov, N. N.**, 1944. *Arctic Ice* (Kääntänyt englanniksi U.S. Navy Electronics Laboratory, San Diego, California, 1963).
- Ympäristöministeriö**, 2006. Työsuojelu jää- ja hyydepatojen turjunnassa. Ympäristöhallinnon ohjeita 3/2006. Ympäristöministeriö, Helsinki.

Åkerberg, A. ja Raunio, J., 2012. *Kymijoen alaosan vedenlaadun yhteistarkkailu vuonna 2011.* Kymijoen vesi ja ympäristö ry:n julkaisu no 220/2012.